Petite Bibliothèque de Culture Générale



Max KOLLMANN

Maître de Conférence à la Faculté
des Sciences de Rennes

LA BIOLOGIE



ALBIN MICHEL ÉDITEUR
22, Rue Huyghens. Paris.


Ex-libris
Charles Atwood
Kofoid
BMC

BIBLIOTHÈQUE-
COSMOS

PETITE BIBLIOTHÈQUE
DE
CULTURE GÉNÉRALE

La Bibliothèque « Cosmos » a pour objet de permettre à chacun, par la lecture d'un seul petit ouvrage, de se faire une idée exacte des questions qui forment une science. A cet effet, la rédaction des volumes de la Collection Cosmos a été confiée, non à des spécialistes de la vulgarisation scientifique, mais à des savants, qui ont su, sans se départir d'un esprit hautement scientifique, rester accessible à tous. La Collection Cosmos n'exige du lecteur aucune connaissance spéciale préalable et s'adresse à tous ceux, sans distinction, qui veulent ne pas être étrangers aux choses de l'intelligence. On trouvera dans les petits livres qu'elle réunit un moyen commode d'acquérir — et d'entretenir — ces clartés de tout qui, aujourd'hui plus que jamais, sont le complément indispensable de l'éducation. L'étudiant y aura recours au début pour embrasser d'un coup d'œil la matière qu'il se propose d'approfondir : on a souvent recommandé cette vue de l'ensemble précédant l'examen attentif du détail. Le spécialiste même s'y intéressera par curiosité de connaître ce qu'on a pu exposer d'une science en si peu de pages.

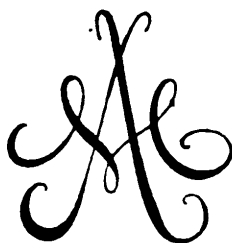
Aux amis, aux conseillers de la jeunesse, il convient pareillement de signaler la Bibliothèque « Cosmos », qui mérite, à tous égards, de retenir leur attention. En faisant connaître dans les milieux auxquels va leur sollicitude les petits ouvrages clairs, précis et fortement pensés dont elle se compose, ils contribueront à y développer ce goût du savoir, qui est une source de grandeur pour un peuple.

LA

BIOLOGIE

MAX KOLLMANN
MAITRE DE CONFÉRENCES A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE RENNES

LA BIOLOGIE



ALBIN MICHEL, EDITEUR
PARIS, 22, RUE HUYGHENS, 22, PARIS

PREMIÈRE PARTIE

LA BIOLOGIE ET SES SUBDIVISIONS

CHAPITRE PREMIER

LE DOMAINE DE LA BIOLOGIE

SOMMAIRE. — *Caractères distinctifs des corps bruts et des êtres vivants. — Animaux et végétaux.*

Toute science est définie par son objet et par le point de vue sous lequel elle l'envisage. La Biologie est la science des êtres vivants, considérés à tous les points de vue possibles. La définition des êtres vivants sera donc celle de la Biologie.

CARACTÈRES DISTINCTIFS DES CORPS BRUTS ET DES ÊTRES VIVANTS.

L'expérience journalière nous impose la notion de trois sortes de corps naturels, les corps bruts, les végétaux, les animaux : d'où la distinction de trois règnes correspondants, minéral, végétal, animal. La même expérience vulgaire nous semble indiquer qu'il y a entre les végétaux et les animaux un grand nombre de caractères communs qui manquent aux corps bruts, et c'est cette notion nette, mais peu explicite, que nous exprimons en disant que les uns et les autres sont vivants.

Les corps bruts, un caillou, un morceau de fer, un cristal de sulfate de cuivre, se caractérisent dès l'abord par l'*homogénéité* de leur constitution, ce qui veut dire qu'une partie quelconque a la même composition, la même structure que toute autre partie. De plus, en l'absence de toute intervention évidente des forces extérieures, ils ne semblent subir aucune modification : le caillou ne se déplace pas si aucun agent extérieur à lui ne vient à le déplacer; le morceau de fer, maintenu dans une atmosphère parfaitement sèche reste indéfiniment brillant et inaltéré.

Homogénéité, inertie, tels sont les caractères des corps bruts.

Quel contraste avec un animal ou avec une plante! Le premier, avec son corps, ses membres, son squelette, ses muscles, la seconde avec sa racine, sa tige, ses rameaux nous apparaissent dès l'abord comme ayant une constitution essentiellement *hétérogène*. Aucune partie considérée isolément ne se retrouve identique en quelque autre point du corps. Animal et végétal ont, de plus, une structure intime d'ordre microscopique tout à fait spéciale et qui manque absolument aux corps bruts. Nous l'examinerons plus loin en détail.

D'autre part, les êtres vivants présentent une apparence d'*activité* permanente. Sans cesse ils se modifient et sont en voie d'*évolution*. Ils naissent, s'accroissent, se nourrissent, empruntent perpétuellement au milieu dans lequel ils vivent des matières diverses qu'ils incorporent à leur propre substance, excrètent, c'est-à-dire rejettent les produits de leur activité; puis, après un certain temps de vie active, ils vieillissent et meurent. Les éléments minéraux qui les constituent — car les êtres vivants sont composés de corps simples, carbone, oxygène, hydrogène,

azote, etc., tous bien connus en chimie — se séparent alors et retournent au monde inanimé.

Mais entre temps, ces êtres vivants se sont *reproduits*. Une portion minime de leur substance, œuf pour les animaux, graine pour les végétaux, s'est séparée de leur corps. A leur tour, cette graine et cet œuf, se sont développés, ont évolué et ont reproduit un être semblable à celui dont ils étaient partis. La réciproque est d'ailleurs également vraie : un être vivant, quel qu'il soit, descend toujours d'un organisme préexistant. La génération spontanée n'existe pas, ou pour mieux dire les conditions qui permettraient aux éléments minéraux de s'unir pour constituer un être vivant ne semblent pas se rencontter dans la nature actuelle; du moins, Pasteur a montré que dans tous les cas où on avait cru saisir des faits de génération spontanée on avait été trompé par des expériences mal conduites. Les êtres vivants ont donc tous un progéniteur.

Rien de tel, évidemment, parmi les corps minéraux. Qu'un hasard mette en présence du fer, de l'oxygène et de la vapeur d'eau, il se formera de la rouille, c'est-à-dire de l'oxyde de fer, dont l'existence ne devra rien à tout l'oxyde de fer préexistant dans la nature.

Complexité de structure, *activité*, *évolution*, *reproduction*, tels sont les caractères essentiels des êtres vivants.

A vrai dire, ces caractères différentiels entre les corps bruts et les êtres vivants ne sont peut-être pas tout à fait absolus. Et ce n'est pas là le moindre résultat des recherches physico-chimiques modernes qu'on ait pu parler, avec beaucoup d'exagération dans l'expression toutefois, de la « vie de la matière ». Il faut entendre par là qu'on observe parfois, dans les corps bruts, des phénomènes qui rappellent, au moins superficiellement, les manifestations considérées comme caractéristiques des êtres vivants.

Par exemple, cette inertie des corps bruts qui contraste si étrangement avec l'activité des corps vivants n'est souvent qu'une apparence. Un morceau de verre préalablement dilaté par la chaleur et revenu à sa température primitive, continue à se contracter très lentement, quoique faiblement, ce qui extériorise à nos yeux l'activité moléculaire de la substance qui le constitue. Une des propriétés les plus importantes des êtres vivants c'est le pouvoir de conserver leur forme et de la reconstituer quand elle est altérée. La *régénération* des organes détruits ou bien, plus généralement, la cicatrisation en sont les processus les plus vulgairement connus. Or, cette propriété se retrouve dans les cristaux. Eux aussi possèdent une forme caractéristique. Abattons un angle d'un cristal et plongeons-le dans une solution de la substance qui le constitue; peu à peu, l'angle se reconstitue et le cristal reprend sa forme première; il se cicatrise positivement.

Nous pouvons citer bien d'autres exemples; nous nous contenterons de tirer de ces rapprochements la conclusion suivante : si certains phénomènes présentés par les êtres vivants, rappellent de si près d'autres phénomènes attribués aux corps bruts, il y a lieu de supposer que les mêmes causes conditionnent les uns et les autres. Ce qui revient à dire que l'explication des phénomènes de l'activité vitale doit être cherchée dans l'application aux organismes des lois générales de la mécanique, de la physique et de la chimie.

ANIMAUX ET VÉGÉTAUX.

Ce que nous venons de dire s'applique aux animaux comme aux végétaux. Et c'est bien une notion vulgaire qui nous fait attribuer un même caractère la *vie* aussi bien à un chêne, un pied de blé ou un plant de pomme de terre

qu'à un homme ou un cheval. Les uns et les autres, en effet, ont une structure, se nourrissent, évoluent, se reproduisent.

Nous n'hésitons pas cependant à classer un organisme quelconque dans l'un des deux règnes du groupe des vivants. A bien analyser les motifs obscurs qui nous déterminent, nous trouvons qu'il n'y en a qu'un : nous attribuons au règne animal les organismes doués de sensibilité et de mouvement, et au règne végétal ceux qui sont insensibles et immobiles. Eh bien, l'analogie entre animaux et plantes est encore bien plus grande qu'il semble à première vue, car ce critérium s'évanouit complètement à l'examen des faits.

Si d'abord nous descendons dans la série animale jusqu'aux polypes, le *Corail* par exemple, nous trouvons des organismes fixés au sol, aux mouvements lents, très limités, réduits à leur plus simple forme. Faut-il inversement rappeler les plantes dont les fleurs pivotant autour de leur pédoncule accompagnent plus ou moins complètement le soleil dans sa course? Le nom de « Tournesol » est suffisamment expressif. Chez la Sensitive, le mouvement est encore bien plus remarquable. Cette plante célèbre, mais peu connue dans nos régions parce qu'on ne peut la conserver qu'en serre, possède des feuilles composées, analogues à celles des Mimosas, portées sur un renflement qui les rattache à la tige. Ebranle-t-on, même faiblement, ce renflement? Immédiatement la feuille s'abaisse, les folioles se replient les unes sur les autres avec une rapidité et une brusquerie qu'on ne rencontre que chez les animaux élevés en organisation. Nul doute que cette plante ne soit douée d'une sorte de sensibilité ou plutôt d'*excitabilité* qui, à première vue, semblerait être l'apanage exclusif du règne animal.

D'ailleurs, si on descend dans la série végétale et dans

la série animale jusqu'aux échelons les plus inférieurs, on rencontre des êtres qu'on ne sait vraiment à quelle catégorie attribuer sinon par des caractères sans importance (fig. 1.) Et à vrai dire toute attribution arbitraire

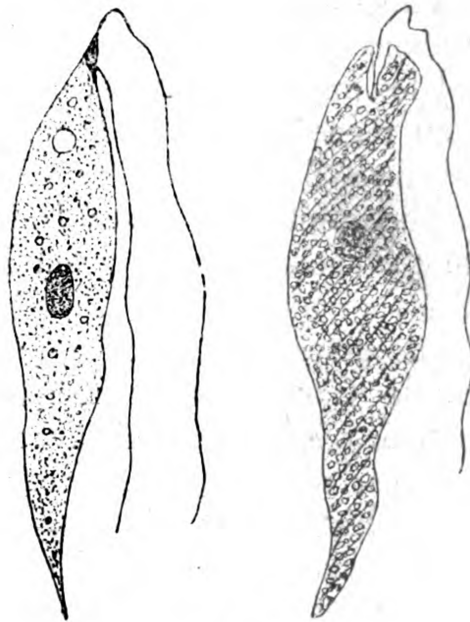


Fig. 1

Deux organismes unicellulaires microscopiques, très voisins par leur constitution générale. Celui de droite qui renferme des grains de chlorophylle est habituellement classé dans le règne végétal. Celui de gauche qui en est dépourvu est attribué au règne animal.

à l'un des deux règnes est absolument sans intérêt, il nous suffit de constater que nous avons affaire à des organismes vivants.

Les propriétés vitales les plus essentielles se retrouvent donc chez les végétaux comme chez les animaux. C'est l'étude des phénomènes généraux *communs aux deux règnes* qui constitue la Biologie.

CHAPITRE II

LES DIVERS POINTS DE VUE DE LA BIOLOGIE

SOMMAIRE. — *La Systématique. — L'Anatomie comparée; la Systématique anatomique. — L'Embryologie. — La Phylogénie. — La Physiologie. — La Physiologie du développement. — La recherche des facteurs de l'évolution.*

LA SYSTÉMATIQUE. La Nature ne nous offre à considérer directement que des *individus*, tous différents les uns des autres par quelques particularités. Certains d'entre eux, cependant, se ressemblent plus qu'ils ne ressemblent à *tous* les autres; de là, la constitution d'un certain nombre de groupements idéaux auxquels on donne un nom que par extension on applique également à chacun des individus composant ces groupes. Tels le chat, le chien, l'ours, la chèvre le cheval, etc.

C'est là le point de vue le plus simple sous lequel on peut considérer les êtres vivants. Historiquement, c'est ainsi qu'est née la Biologie; par exemple, l'homme primitif a désigné sous le nom commun d' « ours » tous les Mammifères de grande taille à longue fourrure et à démarche plantigrade, comme il aurait désigné sous un autre vocable tout autre groupe d'objets naturels vivants ou inanimés entre lesquels il observait certains caractères de ressemblance.

Scientifiquement, cela revient à dresser un catalogue

de petits groupes d'êtres vivants définis chacun par ensemble de caractères bien déterminés. Cette œuvre, commencée peut-on dire avec l'humanité, est restée jusqu'aux temps modernes extrêmement confuse. C'est le célèbre naturaliste suédois Linné qui le premier, vers le milieu du XVIIIe siècle, assujettit à des règles précises ce que nous appelons aujourd'hui classification ou *Systématique*.

Il décida que le plus petit des groupes d'individus auquel on pouvait juger utile de donner un nom serait appelé *espèce*. Les espèces voisines sont rassemblées en groupes d'ordre supérieur ou *genres*. Chaque espèce est désignée par deux mots latins, le premier attribué au genre, le second à l'espèce. Ainsi le chat domestique, le lion, le tigre, portent scientifiquement les noms de *Felis domesticus*, *Felis leo*, *Felis tigris*.

Les genres affines sont à leur tour rassemblés en familles, les familles en ordres, les ordres en classes et ces dernières en embranchements. Un petit nombre d'embranchements forment chacun des deux règnes animal et végétal. Il est facile de comprendre que les différences qui séparent les espèces entre elles sont moins importantes que celles qui distinguent les genres, que les dissemblances entre familles sont encore d'ordre supérieur, et ainsi de suite.

Tels sont les cadres dans lesquels Linné a proposé de distribuer tous les êtres vivants.

Ce catalogue systématique étant supposé complet, tout individu rencontré dans la nature doit y trouver sa place et son nom. C'est d'ailleurs sa *seule utilité* pratique : il doit nous permettre de nous reconnaître dans le fouillis des formes vivantes. Si, dans un cas donné, il ne nous apporte pas l'aide attendue, c'est que le catalogue est imparfait dans quelqu'une de ses parties. Il l'est encore aujourd'hui, et la Systématique à laquelle on a travaillé

depuis Linné est toujours incomplète. Sans cesse on découvre de nouveaux individus qu'on ne peut faire rentrer dans aucune des espèces actuellement admises et pour lesquelles on doit créer une case nouvelle, un nom nouveau. Enfin, les caractères qui distinguent les espèces, les genres, les familles voisins n'ont pas toujours été appréciés avec assez de critique. Comme d'autre part, l'importance attribuée à ces caractères est une simple question d'appréciation personnelle, on conçoit que les cadres de la classification aient pu et dû être remaniés bien des fois. Il est à supposer, qu'avec le temps, un accord tacite finira par s'établir entre les systématiciens et que cette partie de la Biologie atteindra à une stabilité qui lui manque encore beaucoup trop aujourd'hui.

L'ANATOMIE COMPARÉE. LA SYSTÉMATIQUE ANATOMIQUE.

La Systématique fait à peu près exclusivement état des caractères extérieurs. Mais l'examen des organes internes doit retenir l'attention, avec plus de raison encore. Cette partie de l'étude des êtres vivants constitue l'*Anatomie*, *anatomie descriptive* tant qu'elle se borne à la considération grossière des organes, *anatomie microscopique*, *histologie*, quand elle descend à l'étude de la structure microscopique de ces organes et des tissus qui les construisent.

L'Anatomie révèle rapidement entre les différentes espèces voisines des affinités de structure, plus ou moins grandes et au contraire des différences de plus en plus importantes quand on compare les genres entre eux, les familles entre elles, les classes, et ainsi de suite. Cette manière d'envisager la structure des êtres vivants constitue l'*Anatomie comparée* fondée par Cuvier et Geoffroy Saint-Hilaire.

Le résultat de ce travail, question de description mise à part, n'est en somme qu'une classification nouvelle, une *Systématique fondée sur la considération de l'ensemble des organes* au lieu de l'être presque uniquement sur les caractères extérieurs.

Dans un cas comme dans l'autre, les résultats sont exactement de même ordre et ont la même *valeur philosophique.*

L'expérience a montré que la Systématique anatomique se superpose en somme presque exactement à la systématique ordinaire. La première offre cependant cette supériorité évidente d'envisager, non quelques particularités, mais tout l'ensemble des caractères, tant internes qu'externes. Aussi l'Anatomie comparée a-t-elle permis de rectifier quelques erreurs trop grossières de la Systématique. Par exemple, les Phoques, les Morses et les Otaries, Mammifères aquatiques et nageurs autrefois rapprochés des Baleines, ont pu être beaucoup plus rationnellement rattachés aux Carnivores, sur le vu de l'ensemble de leur organisation générale, crâne et dents en particulier.

L'EMBRYOLOGIE. Diviser, classer, catégoriser, tel est en dernière analyse le but, la fin de la Systématique et de l'Anatomie comparée. Certains esprits s'en tiennent là. D'autres sont moins frappés des différences que présentent entre eux organismes et phénomènes que de leurs rapports, de leurs ressemblances. Ils recherchent plutôt la continuité, là où les précédents tentaient d'établir des catégories nettement tranchées. Voyons l'application de cette tendance à la Biologie.

Tous les organismes individuels se développent. Ouvrons un œuf confié à une poule couveuse depuis quel-

ques heures : nous y trouverons un organisme, qui ne ressemble que de fort loin au poulet qu'il sera plus tard. Si nous pratiquons cet examen sur des œufs en incubation de plus en plus avancée, nous verrons le petit organisme ressembler de plus en plus au poussin. En un mot, entre l'œuf et l'organisme définitivement constitué s'échelonnent toute une série d'états qui passent progressivement les uns aux autres. La reconstitution et l'étude de ces états, autrement dit l'étude du développement individuel des organismes, constitue l'*Embryologie*.

Depuis l'époque où G. F. Wolf (1733-1794) élucidait la formation du tube digestif dans l'embryon du poulet, une foule de savants nous ont fait connaître tous les détails du développement individuel de la plupart des organismes vivants. Peu de lacunes importantes, la plupart malheureusement très difficiles à combler, persistent encore dans la masse des résultats acquis.

Une période cependant n'a pas jusqu'ici été examinée aussi complètement. Quand on dit qu'un organisme est parvenu à l'état adulte on sous-entend ordinairement : à son état définitif. Or, rien n'est définitif dans un organisme; l'adulte se modifie plus ou moins rapidement suivant les cas, en d'autres termes il vieillit, et s'achemine ainsi vers la conclusion ultime, c'est-à-dire vers la mort. Jusqu'ici, les modifications de toute nature qui constituent la *sénilité* n'ont pas été étudiées avec beaucoup de soin. Mais cette lacune n'est pas sans doute particulièrement difficile à combler.

En possession des documents supposés complets sur le développement des êtres vivants, on peut construire une *Embryologie comparée* parallèle à l'Anatomie comparée. Le résultat peut être une nouvelle *classification* des organismes basée sur les caractères de leurs embryons. Les auteurs de la période la plus florissante de l'em-

bryologie n'y ont pas manqué. Malheureusement, il est apparu rapidement qu'il était difficile d'établir un accord satisfaisant entre une Systématique embryogénique et la classification telle qu'on l'a établie au moyen de l'Anatomie comparée; que des êtres, qui par l'ensemble de leurs caractères de structure peuvent être raisonnablement considérés comme voisins, se développent en passant par des formes très différentes.

Le critérium embryologique ne doit donc être employé en systématique qu'avec beaucoup de prudence.

Néanmoins, l'étude du développement a permis en certains cas de perfectionner la Systématique et de restituer à divers organismes la place qu'il est convenable de leur assigner. En voici un exemple. Les crabes de nos côtes portent souvent sous l'abdomen un singulier parasite, la Sacculine, sorte de sac sans forme bien caractéristique (Voir, fig. 13, p. 73), qu'on ne sait vraiment, sur le vu de ses caractères anatomiques, de quel groupe rapprocher. L'étude du développement de ce parasite, en montrant l'existence d'une phase larvaire, le *nauplius*, caractéristique des Crustacés, a permis de le considérer comme appartenant à cette classe.

LA PHYLOGÉNIE. La question du développement des organismes présente une autre face. Au lieu de nous demander comment les individus évoluent à partir de l'œuf, nous pouvons nous poser la question de savoir comment les organismes ont fait leur apparition dans la nature avec les caractères que nous leur voyons aujourd'hui.

Deux manières de voir sont en présence. Ou bien nous pouvons supposer que chaque espèce végétale ou animale a été l'objet d'un acte créateur de la part d'un Etre tout-

puissant. C'est l'hypothèse créationniste, celle de Linné, de Cuvier. Ou bien nous pouvons admettre que les espèces dérivent les unes des autres par transformations successives. C'est l'hypothèse évolutionniste ou transformiste de Buffon, Lamarck, Darwin et de leurs innombrables successeurs. Dans cette hypothèse il faut se représenter le

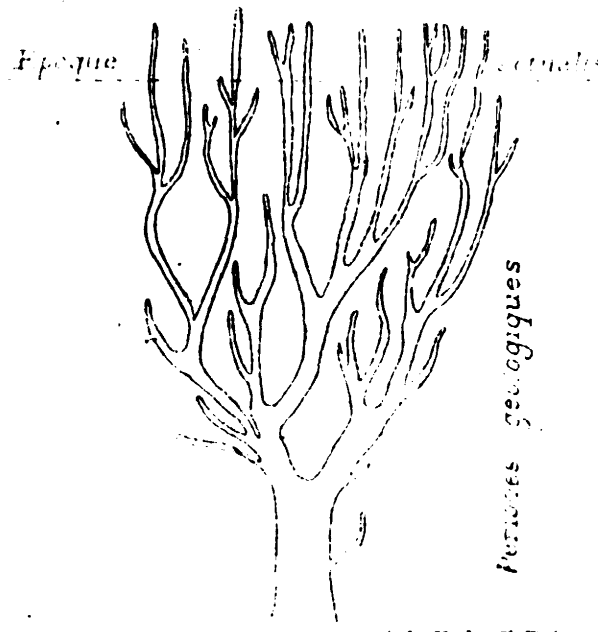


FIG. 2

Schéma d'un arbre phylogénique des êtres vivants. Remarquer qu'à l'époque actuelle nous n'observons plus guère que l'extrémité des rameaux individualisés aux cours des époques géologiques.

règne vivant tout entier — et il s'agit ici non seulement des espèces vivantes de l'époque actuelle, mais aussi des formes disparues dans les temps géologiques, des formes fossiles — comme un arbre généalogique immense aux innombrables rameaux ramifiés et touffus et dont la base remonte à l'apparition de la vie sur le globe. Parmi ces rameaux, certains ont disparu bien avant l'époque ac-

tuelle; d'autres se sont prolongés jusqu'à nos jours; nous

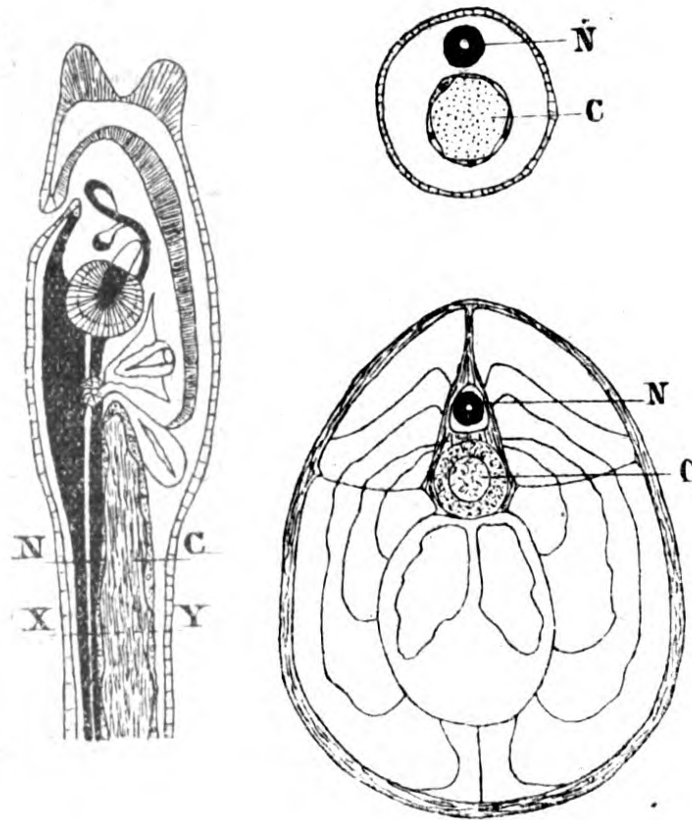


Fig. 3

Rapports de la larve des Ascidies et des Vertébrés. A gauche : larve d'Ascidie vue en coupe longitudinale; à droite, en haut : coupe de la queue de la larve, suivant X. Y. (Schéma); à droite, en bas : coupe de la queue d'un poisson (*Protopterus*) (d'après Göppert); N, ébauche du système nerveux; C. corde dorsale autour de laquelle se forme la colonne vertébrale chez les Vertébrés. La corde et le système nerveux présentent dans l'un et l'autre cas la même disposition réciproque.

n'en voyons que les extrémités. Ce sont les formes vivantes actuelles.

Reconstituer cet arbre, telle est la tâche qui devait séduire dès l'abord les premiers transformistes.

Malheureusement, aucun guide ne s'offrait qui pût faciliter ce travail, sinon la *vraisemblance* que deux formes d'organisation très voisine devaient *probablement* descendre l'une de l'autre ou avoir un ancêtre commun. Une *remarque* vint simplifier la question. On constata que certaines phases par lesquelles passe un organisme en voie de développement reproduisent assez exactement des dispositions réalisées à l'état adulte dans d'autres types qu'on peut raisonnablement considérer comme inférieurs en structure. Cette remarque, car ce n'est rien d'autre, entrevue peut-être par Kielmeyer, plus nettement formulée par Geoffroy Saint-Hilaire, fut surtout mise en relief en France par Serres vers 1840.

Elle permet de rassembler certains groupes d'organismes en séries dont les premiers termes peuvent logiquement être considérés comme plus primitifs que les derniers.

Malgré cette aide on n'est pas parvenu aujourd'hui à reconstituer l'arbre généalogique en entier, et il est peu probable qu'on y parvienne jamais. Cependant, dans quelques cas, surtout en Paléontologie, on a pu réunir des documents suffisamment nombreux et précis pour que certains rameaux aient pu être reconstitués et poursuivis assez loin dans la série des temps géologiques.

La loi de Serres permet enfin parfois de rectifier des erreurs de la Systématique vulgaire que la méthode de l'Anatomie comparée ne permet pas non plus de dépister. C'est ainsi, par exemple, que les Ascidies (Voir fig. 3.) ont pu être rapprochées de la souche des Vertébrés sur le vu d'une des phases de leur développement où on retrouve en effet des dispositions toujours réalisées dans ce dernier embranchement.

LA PHYSIOLOGIE. Jusqu'ici, nous ne nous sommes occupés que de la forme des êtres vivants, soit que nous ayons cherché à les distribuer en groupes d'après leurs caractères morphologiques, soit que nous ayons envisagé l'acquisition individuelle de cette forme. Il est un autre point de vue non moins essentiel. L'observation la plus vulgaire montre que tous les organismes sont le siège d'un circulus constant de substances et d'énergie. En effet, constamment ils absorbent des matériaux qu'ils empruntent au milieu extérieur, oxygène, aliments les plus divers, acide carbonique (quand il s'agit des végétaux). A l'inverse, ils excrètent constamment des produits qui, en définitive, proviennent de la transformation des substances ingérées, c'est l'acide carbonique, l'urée et les autres corps contenus dans l'urine, etc.

D'autre part, les substances ingérées représentent pour l'organisme une source d'énergie comme — pour employer une comparaison classique dont on a quelque peu abusé — le charbon représente une source d'énergie pour une machine. Cette énergie absorbée, l'organisme la rend au monde extérieur sous des formes diverses, mouvement, chaleur, lumière, voire électricité. Il y a donc parallèlement au circulus matériel un circulus énergétique. Tous les organes qui constituent un être vivant participent à la réalisation de cette double circulation. Le rôle de la *Physiologie* consiste à en définir les diverses phases et à préciser le rôle réalisateur de chaque organe.

Depuis l'époque (1509-1535) à laquelle Servey décrivait avec exactitude la circulation du sang, d'immenses résultats ont été accumulés dans ce sens. Les transformations matérielles ou énergétiques dont les êtres vivants sont le siège étant supposées régies par les lois de la chimie et de la physique, ce que l'expérience démontre *a posteriori*, les méthodes et procédés de ces deux sciences ont

été appliquées aux organismes. C'est dire que la Physiologie est une science expérimentale.

Nous ne pourrons citer même les noms des plus célèbres parmi les physiologistes qui ont collaboré à cette œuvre immense, mais nous ne saurions oublier deux de nos illustres compatriotes : Lavoisier, le créateur de la chimie, dont les recherches sur la combustion organique ont fait le précurseur des physiologistes modernes, et Claude Bernard qui appliqua la méthode expérimentale à l'explication du fonctionnement organique avec une précision inégalée jusqu'à lui et sut en même temps en exprimer la philosophie.

LA PHYSIOLOGIE DU DÉVELOPPEMENT

L'embryogénie telle que nous l'avons définie ci-dessus envisage les transformations des êtres en développement du seul point de vue morphologique. Mais il y a plus et mieux à faire. Tout être vivant embryon ou adulte est soumis à deux systèmes de forces ou *facteurs;* l'un interne est le résultat de la structure physico-chimique de l'organisme à l'instant considéré; l'autre, externe, comprend l'ensemble des influences que le milieu dans lequel il est plongé peut exercer sur lui. L'observation, même vulgaire, montre en effet que le milieu agit sur les organismes pour en modifier la forme. Les horticulteurs savent bien que leurs plantes peuvent présenter des caractères variables suivant les conditions dans lesquelles ils les cultivent. Les éleveurs n'ignorent pas davantage le rôle de l'alimentation sur les formes, l'engraissement, la fécondité de leurs bestiaux. Et les mêmes éleveurs savent bien aussi quelle transformation amène dans un organisme la castration, c'est-à-dire l'enlèvement des glandes génitales, ce qui démontre le rôle des facteurs internes.

Toute transformation d'un organisme peut donc être considérée comme le résultat de l'action d'un ensemble de facteurs, les uns externes, les autres internes et le plus souvent, on pourrait même dire toujours, à la fois externes et internes. En termes plus généraux encore, quand un organisme en voie de développement passe d'un état A à un autre état B, cette transformation morphologique est le résultat de l'intervention du milieu et de l'organisme lui-même. Définir les facteurs externes ou internes qui, à tout instant du développement, conditionnent, déterminent les changements de forme correspondants, tel est le rôle de ce qu'on peut appeler la *Physiologie du développement.*

Il ne faudrait pas croire, du reste, que cette recherche se limite à la période embryonnaire. L'adulte, avons-nous déjà remarqué, nous donne une fausse impression de stabilité. En fait, il se modifie constamment, quoique moins profondément que l'embryon. Ces modifications sont susceptibles de la même analyse que celles des organismes en développement. Nous pourrions définir, en élargissant un peu la signification habituellement attribuée à ce terme, la physiologie du développement comme la recherche des *causes* physico-chimiques des transformations morphologiques des organismes.

LA RECHERCHE DES FACTEURS DE L'ÉVOLUTION.

Enfin, la recherche de la causalité en Biologie a été appliquée à la Phylogénie. De même que par la mécanique du développement on s'est efforcé de définir les facteurs des transformations successives de l'embryon et de l'adulte, de même par un ensemble de recherches expérimentales complété de théories et d'hypothèses, on a tenté de définir les causes de la formation des espèces.

Il s'agissait d'asseoir le transformisme sur une base expérimentale solide. Admettant *a priori* que les espèces descendent les unes des autres, nous devions en effet nous demander sous quelles influences s'est faite, se fait encore cette série de transformations. Depuis Lamarck, en passant par Darwin, jusqu'aux temps modernes, nous avons surtout vécu sur des théories appuyées sur des observations et sur quelques expériences. Mais dans ces dernières années, les recherches expérimentales se sont multipliées rapidement. Elles ont donné dans bien des cas des résultats très remarquables. Les diverses théories qui prétendent expliquer l'évolution peuvent être critiquées et appréciées au moyen d'arguments dont la valeur est certaine. On dissèque patiemment les différents facteurs qui peuvent transformer les espèces, et si l'on doit convenir que les résultats ne sont pas encore en rapport avec l'effort accompli on doit espérer que dans ce domaine des résultats définitifs, au sens où on doit entendre ces mots en matière scientifique, seront plus ou moins prochainement acquis.

DEUXIÈME PARTIE

CHAPITRE III

LES IDÉES DIRECTRICES EN BIOLOGIE

SOMMAIRE. — *Le Vitalisme. — Le Finalisme. — Le Physico-chimisme. — L'Anthropomorphisme.*

Les recherches scientifiques d'une époque donnée portent toutes un cachet particulier. C'est qu'en effet, les savants ont, de tout temps, cherché à rassembler leurs connaissances toujours incomplètes et fragmentaires, à combler les lacunes par l'hypothèse et à constituer ainsi un corps de doctrine qu'ils ont présenté, comme résumant les résultats les plus généraux de la science. De cette doctrine, les esprits d'une même période sont, pour la plupart, plus ou moins complètement imprégnés et y puisent, inconsciemment souvent, les directives suivant lesquelles ils orientent leurs recherches et la forme sous laquelle ils en exposent les résultats.

Les tendances les plus générales qui, dans les temps passés et encore aujourd'hui, ont plus ou moins directement dirigé l'examen et l'interprétation des phénomènes biologiques, sont peu nombreuses. Leur étude confine en

grande partie à la philosophie. Nous les examinerons brièvement et aussi simplement que possible.

LE VITALISME. Atteint d'une blessure, un homme vient de mourir. Qu'est-ce qui différencie son cadavre inerte et insensible de l'être actif qu'il était il y a un instant? En apparence, rien. De là cette idée toute primitive qu'à la faveur de la blessure quelque chose s'est échappé qui animait ce corps et lui donnait toutes ses propriétés. Ce quelque chose c'est un double, une âme, la *force vitale*, en un mot un principe qui habite le corps pendant un certain temps, y détermine une activité caractéristique, puis le quitte, le rejetant en quelque sorte au rang des corps bruts.

Cette idée s'est conservée presque jusqu'à nos jours, mais après avoir, au début du XIXe siècle, pris figure d'une théorie plus évoluée sans doute, mais qui philosophiquement ne vaut guère mieux. Toutes les fonctions des êtres vivants seraient des manifestations d'une force spéciale, la force vitale, parfaitement distincte des forces physiques et chimiques qui régissent le monde minéral et agissant le plus souvent en conflit avec elles. L'état de vie serait le résultat de son activité. Cesserait-elle d'agir? ce serait la mort; les forces, purement physiques, ne trouvant plus dans la force vitale leur contrepoids, reprendraient le dessus; ainsi s'expliquerait la désintégration complète qui atteint le cadavre.

Ce fut l'erreur de Bichat et de Cuvier, les illustres fondateurs de l'Anatomie générale et de l'Anatomie comparée, de constituer au moyen de l'idée des forces vitales un véritable corps de doctrine. Il est trop évident que ce n'est rien expliquer qu'attribuer les phénomènes du fonctionnement organique à une force qui aurait juste-

ment pour effet de les déterminer. Autant de phénomènes à expliquer, autant de forces à *inventer;* on n'atteint ainsi qu'à une explication *purement verbale.*

L'idée des forces vitales a régné dans la science à peu près jusqu'à Claude Bernard. Elle n'a plus aujourd'hui de partisan déclaré. Beaucoup de manifestations de l'activité des organismes sont actuellement réductibles à une suite de phénomènes physiques et chimiques. Par exemple, nous connaissons en détail les transformations subies par les aliments dans le tube digestif. Nous pouvons même les reproduire *in vitro.* Rien ne prouve qu'il n'en est pas de même de tous les phénomènes vitaux.

A vrai dire, aucun biologiste de notre temps n'oserait déclarer brutalement que telle manifestation de l'activité organique est due à une force qui a justement pour effet de la déterminer. Mais, dans le but d'arriver à l'explication de certains phénomènes biologiques on a construit de toutes pièces des théories qui sont tout imprégnées de l'idée vitaliste. La forme cohérente, qui leur a été donnée peut seule expliquer qu'on leur ait prêté tant d'attention et si longtemps, et qu'elles conservent même encore des partisans plus ou moins déclarés.

Le type de ces théories est celle des particules représentatives. Tout le monde sait ou croit savoir ce que c'est que l'*hérédité.* Pourquoi le poulet possède-t-il un bec, des yeux, des ailes? Parce que, dit-on, il les a *hérités* de ses parents, de même que dans l'espèce humaine l'enfant hérite de la couleur des yeux de sa mère ou de la forme de visage de son père. Le poulet provient d'un œuf, pondu par la poule, fécondé par le coq; or, dans cet œuf, il n'y a ni bec, ni yeux, ni ailes. Ils y sont donc contenus en puissance? Et sous quelle forme? Bref, quel est le mécanisme de l'hérédité?

Selon la théorie qui nous occupe, il existe dans cet œuf des substances, des *particules représentatives* dont la

propriété est telle qu'elles *déterminent* au cours du développement du poulet l'une le bec, l'autre les yeux, une troisième les ailes... et ainsi de suite pour tous les organes, tous les caractères du poulet. Ce qui revient à dire que l'œuf de poule se développe en donnant un poulet parce qu'il est constitué pour donner un poulet. Et ainsi s'explique l'hérédité!

Est-ce là une explication? Evidemment non; ce qui est plus grave, c'est que cette théorie prétend à une valeur explicative et peut parfois, quand elle est exposée avec beaucoup d'art, en donner l'illusion. C'est là le danger des idées vitalistes; elles sont stérilisantes en ce sens que dans certains cas, elles donnent l'impression que nous tenons une solution en fait complètement inexistante. Elles arrêtent la recherche ou plus souvent l'orientent dans une voie sans issue.

LE FINALISME. De nos jours, le vitalisme grossier que nous venons d'analyser brièvement a pris une forme plus subtile; nous lui donnerons, si l'on veut, le nom de *Finalisme* en raison de son caractère particulier, encore que toute doctrine vitaliste soit finaliste par définition. Personne, aujourd'hui, n'oserait invoquer l'existence d'une force spéciale pour rendre compte d'un phénomène biologique quelconque. Par contre, beaucoup d'auteurs semblent frappés de la *fin* vers laquelle *semblent* tendre tous les phénomènes vitaux. Il faut bien le dire, les différentes activités d'un organisme *paraissent* souvent orientées vers une fin déterminée. L'être vivant naît, croît, évolue, mais c'est toujours vers la mort. Il est attaqué par des parasites, par exemple des bactéries, et il réagit, non d'une manière quelconque, mais en s'opposant à la pullulation de ces bactéries tout d'abord, en les éliminant ensuite; il répète un grand nombre de fois le même mouvement, et les muscles qui exécutent ce mouvement réagissent en se développant et en le *ren-*

dant plus facile. Enfin, beaucoup d'organismes qui vivent dans des conditions très spéciales ont des organes qui semblent spécialement modelés pour remplir au mieux les fonctions qui leur sont dévolues. Tels, les phoques et otaries, Mammifères aquatiques très voisins des Carnivores (chiens, ours, etc.), ont des membres qui, bien que construits sur le même type fondamental que ceux des autres Carnivores, ont cependant pris une forme de nageoire tout à fait en rapport avec la locomotion aquatique. Les faits de ce genre sont rassemblés sous le nom *d'adaptation*.

De nombreux savants semblent aujourd'hui admettre que les phénomènes vitaux sont bien d'ordre physico-chimique mais qu'ils ne s'enchaînent pas d'une façon quelconque. Ils se déroulent et se conditionnent de proche en proche suivant un ordre déterminé par la *fin* à réaliser. Il semble qu'il y ait un plan qui s'exécute. Les *faits* sont incontestables et il ne s'agit pas de les discuter. Il est seulement question de leur *interprétation*. Or, Reinke admet qu'ils s'expliquent par l'existence d'une *force directrice* qui oriente les phénomènes physico-chimiques de l'organisme dans un sens déterminé. L'entéléchie de Driesch, l'orthogénèse de Eimer, sont des concepts absolument analogues. Cela revient toujours, selon la méthode vitaliste à expliquer les faits au moyen d'une force hypothétique spécialement inventée dans ce but.

Ce vitalisme expurgé, mis en accord avec les faits, tout au moins d'une façon superficielle, a pris beaucoup d'importance dans ces quinze ou vingt dernières années, principalement en Allemagne. Il n'est pas moins dangereux que le vitalisme grossier : il l'est même davantage, justement parce qu'il semble en accord avec l'apparence des faits. Dire que tel organisme se *défend* contre les bactéries parce qu'une *force directrice* oriente ses réactions

dans un sens contraire à la pullulation de ces bactéries, c'est laisser croire que nous connaissons le mécanisme du phénomène, alors qu'il est encore à trouver.

Ce néovitalisme nous offre donc, comme l'ancien, des explications verbales et une fausse impression de sécurité. Le danger n'est pas imaginaire. C'est sous l'influence d'idées de même ordre, mais inexprimées et inconscientes, qu'on est arrivé à expliquer une quantité de phénomènes biologiques en invoquant la présence d'une substance ayant justement pour propriété de déterminer ce phénomène. Toute l'histoire moderne de l'immunité des animaux supérieurs en est un remarquable exemple. Nous injectons dans le système circulatoire d'un lapin de l'albumine : son sérum acquiert la propriété de précipiter *in vitro* l'albumine. « C'est qu'il s'est chargé d'une *précipitine* qui a justement pour effet de précipiter les solutions d'albumine. » Le sérum des animaux vaccinés contre une bactérie a la propriété de rassembler en petits amas les bactéries d'une culture, « qu'il doit à la présence d'une agglutinine », puis de les dissoudre, ce qui tient *évidemment* aux propriétés spéciales d'une « bactériolysine ». Il est bien vrai que dans certaines conditions le sérum d'un animal peut dissoudre les hématies du sang d'un animal étranger; mais ce phénomène s'explique bien aisément au moyen d'une « hémolysine ». Faut-il rappeler encore les opsonines, les bactériotropines, etc., et tant d'autres substances que Le Dantec à qui on doit une critique de ce genre d'explication, a baptisées ironiquement du nom de *phénoménines*. Or, le résultat le plus net de l'invention de ces noms magnifiques appliqué à des substances hypothétiques *qui n'ont jamais été isolées*, c'est de nous laisser croire que le déterminisme des phénomènes correspondants est définitivement connu, alors

qu'il est tout entier encore à chercher. Cette notion des phénoménines dérive du finalisme le plus pur.

LE PHYSICO-CHIMISME. Comme on le voit, le vitalisme même expurgé, le finalisme a laissé des traces profondes — et regrettables — dans la science actuelle. Cependant, la totalité des biologistes se réclame officiellement d'une tendance tout opposée à laquelle on peut donner le nom de physico-chimisme.

On peut la résumer brièvement : Tous les phénomènes biologiques sont justiciables d'une explication qui ne fait appel qu'aux lois connues de la physique et de la chimie. Ceci impose la méthode à employer dans l'étude des manifestations vitales. C'est la méthode expérimentale.

Ce n'est pas sans résistance que cette tendance s'est introduite dans la science. Le vitalisme avait cependant été critiqué bien des fois, même à certaines époques déjà anciennes, où les connaissances précises, trop incomplètes, ne permettaient pas aux objections de porter. Et cependant, dès la fin du XVIII[e] siècle, Lavoisier étudiait la respiration et la chaleur animale avec la même technique expérimentale qui lui avait servi à étudier la combustion. Plus tard, on analysait la substance vivante, et on y rencontrait les mêmes éléments simples que dans le monde inanimé. On continuait encore à prétendre, cependant, que l'organisme est formé de substances immédiates que nous ne saurions reproduire par synthèse artificielle, bien qu'elles soient composées des corps simples que nous connaissons; l'être vivant aurait eu seul ce pouvoir. Et cette idée s'effondra brusquement quand Woehler réussit à faire la synthèse de l'urée, corps organique très abondant dans l'urine.

Il faut cependant arriver à Claude Bernard et à ses travaux pour voir les tendances vitalistes définitivement éliminées en pratique, non de la biologie en général, du moins de la physiologie. Par ses livres fondamentaux, l'*Introduction à la médecine expérimentale*, notamment, plus encore peut-être par l'exemple de ses recherches, il montra que les phénomènes physiologiques sont susceptibles d'une interprétation physico-chimique. Plus encore, il montrait comment on doit appliquer à la physiologie la méthode des sciences physiques — la méthode expérimentale. Il codifiait cette méthode, en quelque sorte, et traçait les règles auxquelles elle doit s'astreindre.

Aucun physiologiste de nos jours ne ferait appel à une force vitale. Mais la physiologie n'est pas toute la biologie; la morphologie, l'évolution ont résisté plus longtemps à l'emprise de la méthode expérimentale. Aussi le vitalisme a-t-il dans ce domaine laissé des traces trop reconnaissables.

L'ANTHROPOMORPHISME.

Il est enfin une autre tendance à laquelle la Biologie doit autant d'erreurs qu'au vitalisme: c'est l'antropomorphisme.

L'homme se considère comme le centre du monde. L'univers a été créé pour lui. Quel que soit le phénomène qu'il étudie, l'animal dont il examine les habitudes, il ne sait pas faire, sans effort, abstraction de sa propre personnalité. De là, les vieilles classifications zoologiques ou botaniques, uniquement fondées sur l'*utilité*, c'est-à-dire sur les rapports de l'homme et des autres êtres vivants. De nos jours, l'anthropomorphisme inconscient des auteurs modernes consiste pour l'observateur à se prolonger en quelque sorte dans l'organisme qu'il étudie

à interpréter ses actes les plus divers en lui prêtant les facultés, les sentiments humains ou même sa propre physiologie. Cette forme de l'anthropomorphisme a donné naissance à de nombreuses erreurs qu'on a eu beaucoup de peine à rectifier.

Le Dantec a fait remarquer à diverses reprises que le langage courant, adapté à la définition de nos actes les plus habituels, porte en lui-même la tendance anthropomorphiste. Si nous constatons que des infusoires ou des bactéries s'accumulent autour d'une bulle d'air, nous raconterons tout naturellement le fait en disant qu'ils « recherchent » l'oxygène. Cette défectueuse expression, combien naturelle cependant, a le grave inconvénient de nous laisser l'impression que l'influence de l'oxygène sur les infusoires ou les bactéries n'a pas besoin d'explication. Quand nous avons dit : « Les microorganismes se dirigent vers l'oxygène », nous comparons inconsciemment le déplacement de ces êtres vers les régions riches en oxygène à celui d'un homme qui se dirige vers un but quelconque, ce qui revient à attribuer à ces organismes inférieurs une volonté identique à la nôtre. Cette volonté devient la cause du déplacement et le phénomène semble expliqué. Si nous disions au contraire : « Les infusoires réagissent positivement à l'oxygène », nous évoquons l'idée que la distribution inégale de l'oxygène dans le milieu agit sur l'infusoire pour orienter ses mouvements dans un sens déterminé par l'intermédiaire d'un mécanisme à chercher et à étudier et nous évitons l'erreur anthropomorphique.

L'anthropomorphisme a exercé ses ravages en anatomie, et c'est de là que viennent la plupart des expressions injustifiées, et elles sont innombrables, sous lesquelles on désigne les organes de presque tous les Invertébrés. Les anciens anatomistes ont désigné par exemple, sous le nom

de glandes salivaires, de foie, etc., toutes sortes d'organes sécréteurs annexés au tube digestif d'animaux inférieurs qui n'ont aucun rapport de structure ou de fonctions avec les mêmes organes de l'anatomie humaine. C'est cette tendance qui a provoqué ces tentatives de ramener le type de structure des Arthropodes (Insectes, Crustacés...) à celui des Vertébrés — c'est-à-dire de l'Homme. Aujourd'hui, ces essais ont à peine un intérêt historique. La terminologie abusive utilisée dans la description anatomique des Invertébrés n'a plus d'importance; il suffit d'être averti une fois pour toutes qu'une identité de désignation n'implique nullement identité de nature et de fonctions.

C'est surtout dans le domaine de l'interprétation des mouvements, des « instincts », des habitudes, de la psychologie — mot lui-même anthropomorphique que nous n'employons qu'à défaut d'autre — que l'anthropomorphisme exerce aujourd'hui ses ravages. Un seul exemple, souvent cité d'ailleurs, nous permettra d'illustrer la question.

On connaît les observations du célèbre entomologiste Fabre sur les instincts des *Sphex*, gros Hyménoptères piqueurs. Ces insectes pondent leurs œufs dans des coques qu'ils approvisionnent de proies paralysées. La femelle capture, par exemple, des Grillons, les pique au voisinage des centres nerveux, les immobilise ainsi sans cependant les tuer. De plus, elle mord la tête de sa proie, la malaxe « afin » de détruire le cerveau et d'assurer encore plus complètement l'immobilité. La proie est alors transportée dans l'alvéole où la larve du sphégien s'en nourrira bien longtemps après la mort de la mère. Pour Fabre, c'est par « amour maternel » que les Sphex collectent et immobilisent les proies destinées à leurs larves.

Marchal, qui a repris cette étude avec les yeux d'un

critique, a montré que l'Hyménoptère pique sa proie au hasard. Si le coup porte dans le voisinage des ganglions nerveux, c'est que la constitution de la proie ne permet guère à l'aiguillon de pénétrer dans une autre région. Ce n'est nullement parce que le Sphex « sait » qu'il doit piquer en un point plutôt qu'en un autre. Quant à la malaxation de la tête, le même auteur a constaté que le Sphex se délecte du cerveau quand ses efforts le mettent à nu. Si cette manœuvre immobilise plus sûrement la proie c'est en quelque sorte par hasard. L'amour maternel n'a rien à voir ici.

Nous pourrions citer nombre d'autres exemples. Ceux-ci suffiront à montrer le danger des explications anthropomorphistes. Le biologiste doit, dans l'interprétation des phénomènes, faire abstraction totale de sa personnalité, de ses sentiments, de ce qu'il sait de sa propre physiologie.

Tous les biologistes se disent aujourd'hui convaincus que les phénomènes vitaux — beaucoup font exception en ce qui concerne les faits psychiques — sont explicables au moyen des données de la physique et de la chimie. En fait, le physico-chimisme leur tient lieu de méthode de travail. La science a ses limites que chaque jour recule; néanmoins, le domaine des faits encore inexpliqués reste toujours grand. C'est dans ce domaine que le vitalisme contemporain, le finalisme, s'est cantonné. Et il n'y aurait là au fond pas d'inconvénient pratique grave, si la doctrine vitaliste ne tendait parfois, en donnant l'illusion d'une solution, à interrompre la recherche.

TROISIÈME PARTIE

L'ORGANISME INDIVIDUEL

CHAPITRE IV

LA CELLULE
CONSTITUTION GÉNÉRALE DES ORGANISMES

SOMMAIRE. — *Définition.* — *Constitution et fonctions de la cellule.* — *Organismes pluricellulaires.* — *Tissus.* — *Organes et appareils.* — *Complexité, différenciation et degré d'organisation.*

DÉFINITIONS. L'acquisition la plus importante de l'Anatomie générale est certainement la *théorie cellulaire* ou plutôt ce qu'on appelait autrefois ainsi. Les êtres vivants sont tous formés d'un nombre plus ou moins grand d'éléments microscopiques appelés *cellules.* Ce fait constaté pour la première fois par R. Hooke (1665), généralisé depuis par Grew (1672), Malpighi (1675) et Loevenhoeck, a cessé depuis longtemps d'être considéré comme une théorie pour passer dans le domaine des faits démontrés. Les organismes les

plus simples ne comprennent qu'une seule cellule : ce sont les *Protozoaires*, quand il s'agit d'animaux, les *Protophytes*, quand on envisage des végétaux. Inversement, les *Métazoaires* et les *Métaphytes* sont formés d'un nombre plus ou moins grand de ces cellules entre lesquelles il s'établit toujours des différences de structure et de fonctions.

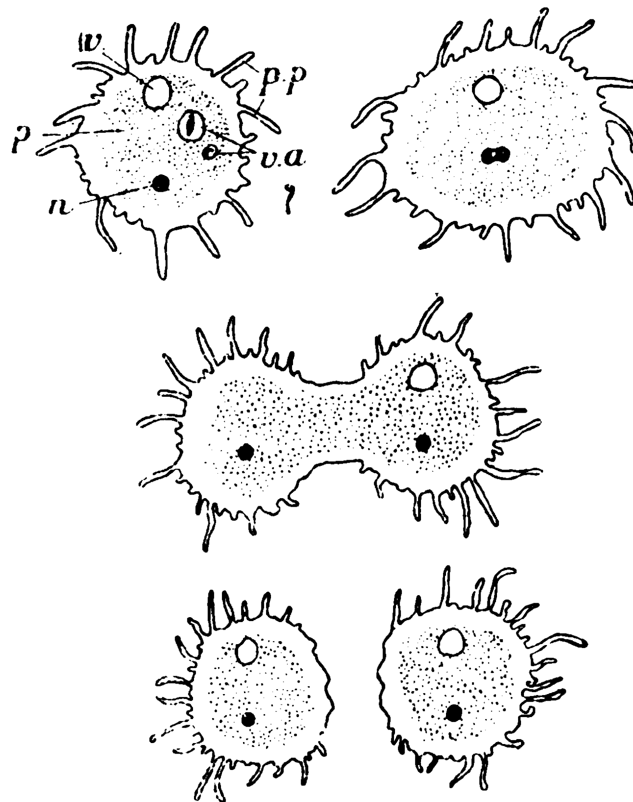


Fig. 4

Amibe. — En haut à droite : amibe à l'état de vie active; *p*, protoplasma; *pp*. pseudopodes; *n*, noyau; *v*, vésicule pulsatile; *v.a.*, vésicule alimentaire. En haut à droite : début de la division, le noyau s'étrangle. Au milieu, le noyau est divisé en deux, le protoplasma s'étrangle. En bas, la division est complète. (Schéma.)

CONSTITUTION ET FONCTIONS DE LA CELLULE.

Examinons une *Amibe*, un de ces organismes simples monocellulaires (fig. 4). Elle se présente comme une masse microscopique (quelques centièmes de millimètres) d'une substance translucide de nature albuminoïde, c'est-à-dire composée de C, H, O, Az et plus ou moins voisine par ses propriétés chimiques de l'albumine ou blanc d'œuf. C'est le *protoplasme*. Au centre, se trouve un corps arrondi, réfringent, le *noyau;* ce dernier est en grande partie composé d'une substance albuminoïde de nature spéciale qu'on appelle la *chromatine*. Protoplasme et noyau sont les deux organes essentiels, ceux qui ne manquent jamais.

Aucune membrane d'enveloppe n'entoure cette amibe. Beaucoup de cellules qu'on peut observer chez d'autres organismes en possèdent une, mais c'est là une disposition très accessoire en général qui ne prend quelque importance physiologique que dans des cas spéciaux. Considérée tout d'abord comme la principale partie de la cellule, elle a dû à la suite des observations de Dujardin (1835) céder le pas au contenu, au *sarcode*, selon l'expression de cet auteur, c'est-à-dire à l'ensemble du protoplasme et du noyau.

Et en effet, ainsi constituée, l'amibe manifeste des propriétés que nous considérons comme caractéristiques des êtres vivants. Elle est capable de se déplacer par une sorte de *mouvement* de reptation très particulier. Elle est *excitable* et dans une mesure *contractile*, puisque sous l'influence d'un choc, par exemple, elle prend brusquement une forme sphérique. Elle se *nourrit* de bactéries qu'elle englobe dans son protoplasme, où elle les digère et les solubilise; elle *assimile* les produits de la digestion; elle *excrète* par le moyen d'une vacuole où s'accumulent les produits de déchets, qui se vide pério-

diquement à l'extérieur; enfin, elle se *reproduit*, d'ailleurs, très simplement : son noyau s'étrangle, se divise en deux; le protoplasme suit le même mouvement et on a deux amibes au lieu d'une.

ORGANISMES PLURICELLULAIRES.

Les Métazoaires et les Métaphytes, quelles que soient leurs dimensions, sont uniquement composés d'un nombre généralement très élevé de cellules. Mais ici, un phénomène nouveau intervient. Toutes les fonctions vitales, qui étaient chez l'amibe exercées par l'élément unique, se répartissent entre les différentes cellules, au moins dans une certaine mesure. Cette *division du travail* physiologique, selon l'expression d'Henri Milne-Edwards qui a le premier largement développé cette notion, s'accompagne d'une *différenciation* dans la forme et la structure des cellules spécialisées. C'est ainsi qu'il se forme des cellules plus particulièrement contractiles, ou fibres musculaires, des cellules sensorielles qui recueillent les excitations du milieu et les transmettent plus ou moins directement aux muscles sous l'influence desquelles ces derniers se contractent, des cellules glandulaires, etc., etc., et enfin des cellules reproductrices œufs et spermatozoïdes qui, par leur développement ultérieur, donneront naissance à un être semblable à celui dont elles sont issus. En un mot, l'organisme pluricellulaire n'est jamais composé de cellules toutes semblables, mais d'éléments qui, tout en présentant chacun pour son compte personnel les propriétés essentielles des éléments vivants, ont développé au maximum l'*une* des fonctions exercées chez les Protozoaires par la cellule unique et se sont acquis une structure spéciale.

LES TISSUS. En général, les cellules de même nature ne restent pas isolées dans l'organisme. Elles s'associent en groupes qui constituent les tissus : ainsi les fibres musculaires forment un tissu musculaire, les cellules glandulaires un tissu glandulaire, etc., etc. (fig. 5).

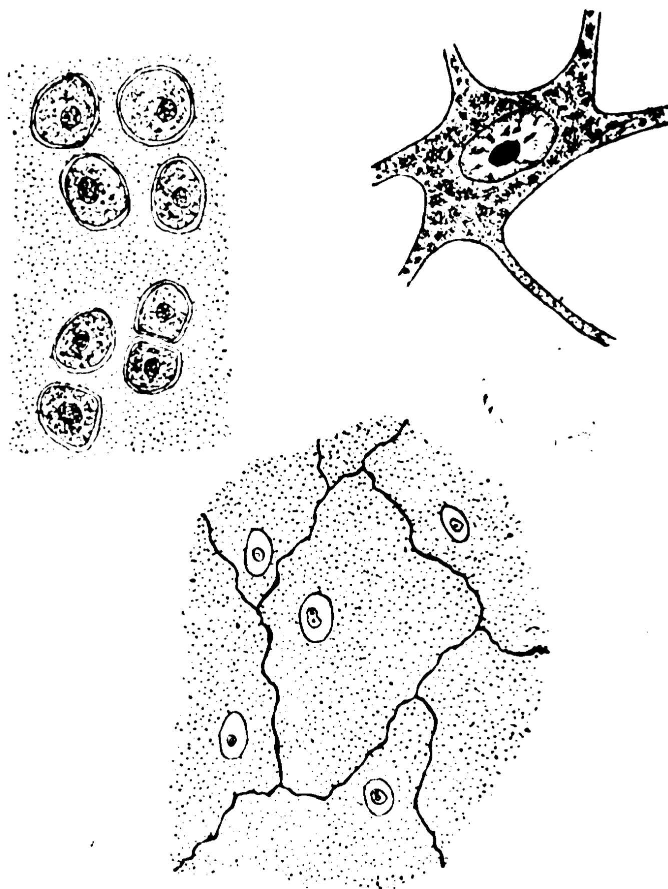


FIG. 5

Quelques exemples d'éléments de tissus différenciés. En haut à gauche : tissu cartilagineux; à droite, une cellule nerveuse; en bas : cellules d'un revêtement endothélial.

ORGANES ET APPAREILS. Les tissus à leur tour s'associent pour constituer des organes dont la nature et la fonction sont déterminées par le tissu prédominant : les *muscles*, organes actifs du mouvement, sont formés de *fibres musculaires*, associées en faisceaux reliés par un tissu de remplissage, le tissu conjonctif, et reliés aux leviers osseux, qu'ils font mouvoir par des *tendons*, eux-mêmes formés de *tissu tendineux*.

Les organes enfin constituent des ensembles plus complexes les *appareils*, tel l'appareil digestif composé par le tube digestif proprement dit, bouche, œsophage, estomac, intestin ; les glandes accessoires, salivaires, pancréas, etc., etc...

En comparant divers organismes entre eux on constate que la complexité des appareils se présente avec un degré très variable. Chez une Hydre, ou une Anémone de mer, organismes très simples, le corps est creusé d'une seule cavité qui représente un appareil digestif des plus simples. Les cellules de l'épithélium qui le revêtent sont toutes semblables et toutes capables de secréter les sucs destinés à solubiliser l'aliment, et d'absorber les produits de cette solubilisation.

A l'autre bout de la série animale chez les Mammifères, les choses sont bien autrement complexes. Au tube digestif proprement dit, sont annexées des glandes dont le rôle spécial est de sécréter les sucs digestifs. L'attaque des aliments par ces sucs ne se fait que dans certaines parties du tractus digestif, l'estomac et l'intestin grêle. Le gros intestin n'a d'autre rôle que celui d'un réservoir où s'accumulent les déchets de la digestion, etc.

COMPLEXITÉ, DIFFÉRENCIATION ET DEGRÉ D'ORGANISATION.

Sans pousser plus loin l'analyse de ces faits, nous pouvons définir maintenant ce qu'on entend par animaux supérieurs, animaux inférieurs.

Il ne faut pas se dissimuler que le fondement de cette distinction est purement anthropomorphique. L'homme se considère comme le plus élevé en organisation des êtres vivants. Il juge donc des autres organismes par rapport à lui. Comme la complexité de structure et la différenciation des organes et appareils est poussée chez lui à un degré qu'on ne retrouve nulle part ailleurs, on a tout naturellement pris comme critérium du degré d'organisation et de perfectionnement différenciation et complexité; et on déclare qu'un animal est d'autant plus élevé en organisation que, chez lui, la division du travail physiologique et la différenciation corrélative des organes est plus accentuée.

CHAPITRE V

LA REPRODUCTION SEXUELLE

SOMMAIRE. — *Deux modes de reproduction : asexuée, sexuée. — Eléments reproducteurs. — La Fécondation. — Ce qu'on sait du déterminisme de la fécondation.*

DEUX MODES DE REPRODUCTION : ASEXUÉE, SEXUÉE.

Les organismes peuvent se reproduire de deux manières différentes. Dans le cas le plus simple, une portion plus ou moins grande de l'organisme se détache et reproduit par son développement ultérieur un être semblable au précédent; parfois, surtout chez les Protozoaires, l'organisme se sectionne en deux parties égales (voir plus haut, le cas de l'amibe). Souvent, la partie qui se détache est sensiblement plus petite que l'individu-mère, mais encore composée d'un certain nombre de cellules. Enfin, le plus souvent, la partie reproductrice est composée d'une seule cellule qui prend généralement le nom de *spore* et qui peut être très petite. Dans tous ces cas, nous avons affaire à la reproduction *asexuée*. Celle-ci peut exister seule ou coexister avec la suivante.

Dans la reproduction *sexuée*, l'organisme présente dans la même espèce des individus de deux sortes, de deux sexes.

Chez les uns, de sexe mâle, des organes spéciaux, les *testicules*, produisent des éléments reproducteurs mâles ou *spermatozoïdes*.

Chez les autres, de sexe femelle, les *ovaires* donnent naissance à des *ovules*. Isolément, ovules et spermatozoïdes sont incapables de tout développement; mais la combinaison d'un ovule et d'un spermatozoïde donne un

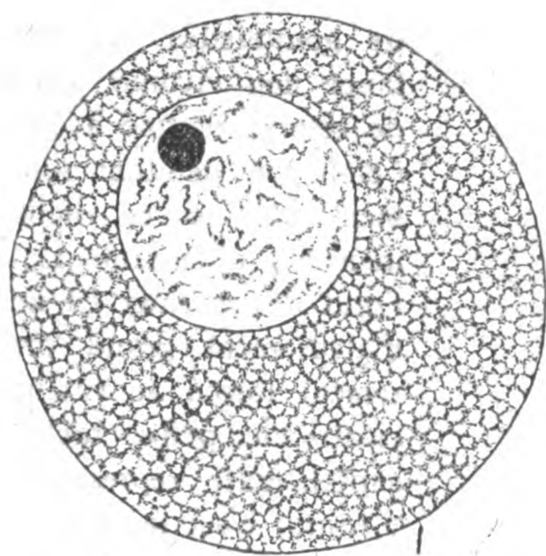


FIG. 6

Ovule d'Oursin : au centre le noyau; le protoplasma est rempli de globules vitellins sphériques.

œuf qui entre en évolution et reproduit un individu nouveau semblable à ses progéniteurs. En général, ovaires et testicules se trouvent, comme nous venons de le dire, chez des individus différents. Parfois, au contraire, les éléments reproducteurs des deux sexes se développent sur le même individu qui est dit *hermaphrodite*. Les escargots, les sangsues, les vers de terre sont dans ce cas.

L'hermaphroditisme est à peu près la règle chez les plantes phanérogames, où dans chaque fleur se produisent des éléments des deux sexes.

ÉLÉMENTS REPRODUCTEURS.

L'ovule des animaux (fig. 6) est une cellule d'une taille en général assez grande, formée d'un noyau et d'une masse cytoplasmique importante. Au sein de ce protoplasme se trouvent toujours un grand nombre de gouttelettes de *vitellus*, substance non vivante, simple matériel de réserve destiné à être utilisé par l'embryon pendant son développement. Parfois, ce vitellus est extrêmement abondant. Le jaune de l'œuf des oiseaux est un ovule prodigieusement grand presque entièrement formé de vitellus; seule, la cicatricule, petite tache blanchâtre superficielle, représente la partie vivante; c'est là que sont le protoplasme et le noyau, et c'est là que se produiront les premiers développements qui donneront naissance au poussin.



FIG. 7

Spermatozoïde d'oursin. N, tête, représentant le noyau; C, pièce intermédiaire renfermant un centrosome; F, flagellum.

Le spermatozoïde (fig. 7) est également une cellule, mais beaucoup plus petite que l'ovule, de forme très spéciale et le noyau est représenté par la tête, le protoplasme par le reste. Différence remarquable et essentielle entre les deux éléments : l'ovule est en raison de ses dimensions immobile; le spermatozoïde peut

au contraire se déplacer au moyen de son flagellum, toujours animé d'un mouvement vibratoire rapide.

Chez les végétaux l'élément femelle ou *oosphère* est en général également immobile; le mâle ou *anthérozoïde*, est au contraire plus petit, cilié et extrêmement mobile. Ce caractère de mobilité de l'élément mâle, se perd à peu près complètement chez les végétaux supérieurs.

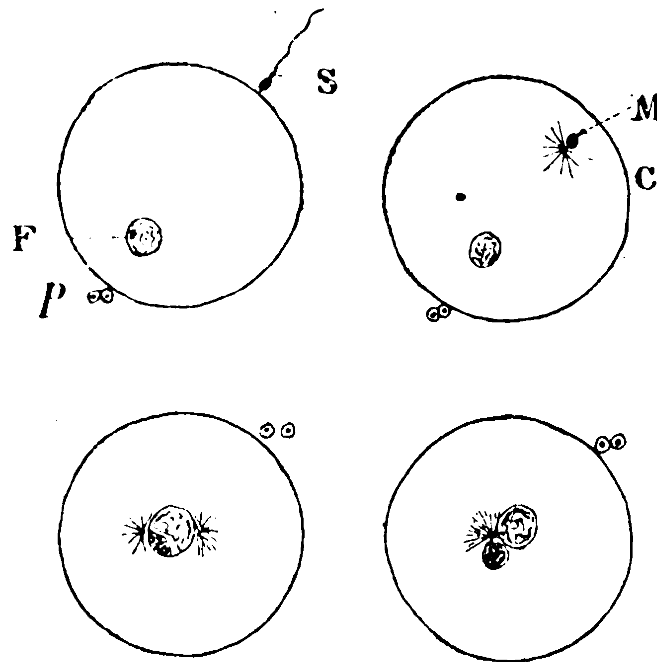


Fig. 8

Fécondation de l'Oursin. — En haut, à gauche : ovule et spermatozoïde; F, noyau de l'œuf; S, spermatozoïde; P, globules polaires. En haut à droite : le spermatozoïde a pénétré; M, noyau du spermatozoïde. C, centrosome apporté par le spermatozoïde. En bas à droite : le noyau du spermatozoïde s'est gonflé et approché du noyau de l'ovule. En bas à gauche : la fusion des deux noyaux est effectuée, l'œuf se prépare à la segmentation.

LA FÉCONDATION. Tout le monde connaît les oursins, animaux marins plus ou moins sphériques, enfermés dans un test calcaire pourvus de piquants et qu'on recueille en abondance sur nos côtes. Chez ces animaux, les sexes sont séparés : les ovules et les spermatozoïdes sont émis directement au dehors. Leur rencontre est donc remise aux soins du hasard. La fécondation artificielle est très facile : on recueille des ovules pris directement sur un oursin femelle dans un peu d'eau de mer; on y ajoute quelques spermatozoïdes prélevés chez un individu de sexe différent. Les phénomènes subséquents peuvent être alors suivis au microscope.

On constate ainsi que chaque œuf est entouré d'une nuée de spermatozoïdes. Ces derniers sont véritablement attirés par l'ovule. L'un d'eux arrive en contact avec la surface de l'élément femelle et pénètre alors, la tête en avant. Une membrane qui se forme alors autour de l'œuf empêche la pénétration de tout autre spermatozoïde. La formation de cette membrane est le premier phénomène morphologique qui indique que la fécondation est accomplie.

Au sein du protoplasme ovulaire, la tête spermatique, le noyau, comme nous le savons, se gonfle et prend l'aspect d'un noyau normal. Alors, le noyau ovulaire et le noyau spermatique s'approchent l'un de l'autre et fusionnent leur substance. Ils ne forment plus qu'un noyau unique. La fécondation est accomplie : l'ovule fécondé est devenu un *œuf*.

Cet œuf diffère de l'ovule par ses propriétés. Le second était incapable d'évolution ultérieure. L'œuf, au contraire, se divise en deux suivant le processus commun à toutes les cellules; les deux cellules ainsi formées se divisent de nouveau : on a donc quatre, puis huit, seize, etc., cellules provenant de l'œuf. Ce processus est

la *segmentation.* Après de multiples transformations, cet œuf finit par donner un individu semblable à l'un des progéniteurs.

Telle est l'action du spermatozoïde de l'ovule. Il transforme une cellule agonisante en un élément doué d'une vitalité normale et met immédiatement en mouvement le phénomène de la division cellulaire.

Tout cela semble mystérieux. L'expérience a cependant pu mordre sur ces phénomènes et nous ne sommes plus aujourd'hui complètement ignorants de leur déterminisme.

CE QU'ON SAIT DU DÉTERMINISME DE LA FÉCONDATION

Il a été possible d'obtenir la segmentation d'ovules vierges, c'est-à-dire en l'absence de toute intervention de spermatozoïde. C'est ce qu'on appelle la *parthénogenèse artificielle.* En soumettant des œufs d'Echinodermes à l'action de solutions hypertoniques de sels divers, de sucre, etc., et en les reportant ensuite dans l'eau de mer, on a provoqué la segmentation d'œufs vierges. Y. Delage a obtenu de remarquables résultats au moyen de l'eau de mer saturée d'acide carbonique; J. Loeb a utilisé avec beaucoup de succès l'action successive d'une solution d'acide butyrique, puis d'une solution hypertonique. Y. Delage a employé plus tard le tanin et l'ammoniaque. Enfin, Bataillon en inoculant des leucocytes ou de la pulpe de rate à des œufs de Batraciens, a également obtenu de nombreux succès. Les œufs traités par les meilleurs de ces procédés se développent complètement. Delage a pu mener l'élevage de ses oursins parthénogénétiques assez loin pour que le sexe ait pu être reconnu, et Bataillon a obtenu des

têtards de Batraciens qu'il a conduits jusqu'à la métamorphose.

On est donc parvenu à *imiter* complètement, quant aux *résultats*, l'action du spermatozoïde.

Les travaux de Loeb ont montré de plus que l'ovule d'oursin soumis à son traitement parthénogénétisant subit d'abord un début de désintégration de « cytolyse » périphérique qui s'arrête bientôt. De plus, cette cytolyse s'accompagne d'une augmentation brusque et importante des phénomènes d'oxydation dont tous les éléments vivants sont normalement le siège. Il est fort probable que le spermatozoïde produit les mêmes effets.

Mais nous ne touchons pas encore là au fond des choses. La question est, il ne faut pas l'oublier, en définitive d'ordre morphologique. Il est bien de définir les transformations physico-chimiques que subit l'œuf au cours de la fécondation naturelle ou artificielle, mais il faudrait montrer comment tout cela aboutit à la division cellulaire.

Nous n'en sommes malheureusement pas là. C'est un chapitre de la mécanique du développement qui est à écrire. Il y a lieu cependant de constater que les expériences de parthénogénèse par inoculation de Bataillon, les recherches récentes de Brachet et de Herlant orientent nettement la recherche dans cette voie. Tous ces faits sont encore d'acquisition trop récente pour que nous puissions les exposer ici.

CHAPITRE VI

REPRODUCTION ASEXUÉE

SOMMAIRE. — *Parthénogénèse naturelle.* — *Sporulation.* — *Bourgeonnement.* — *Régénération.* — *Cicatrisation.* — *Conclusions.*

PARTHÉNOGÉNÈSE NATURELLE.

Nous venons de parler de la parthénogénèse artificielle. Il existe aussi des cas de parthénogenèse naturelle. Les œufs de certains organismes sont parfois capables de se développer en l'absence de toute fécondation. Ce phénomène est d'ailleurs connu depuis longtemps. On l'observe surtout parmi les Insectes et les Crustacés. Citons-en quelques exemples. On trouve parfois dans les mares des Crustacés, *Branchipus*, *Artemia*, *Apus*, appartenant au groupe des Phyllopodes. Or, les mâles de ces animaux sont toujours extrêmement rares et dans certaines localités, complètement absents. Il est trop évident que les œufs pondus par les femelles doivent se développer en dehors de toute fécondation. La femelle d'Abeille ou « reine » pond des œufs, qui, suivant le cas, reçoivent ou ne reçoivent pas de spermatozoïde. Les œufs non fécondés ne s'en développent pas moins ; ils donnent toujours naissance à des mâles. (Voir p. 76.)

Comme on le voit, la parthénogénèse peut être facultative et coexister avec la reproduction sexuée. Il est des cas où ces deux modes de reproduction se succèdent suivant un cycle déterminé. Tout le monde connaît les Pucerons, petits Insectes Hémiptères, qui vivent sur les plantes, auxquelles ils causent parfois d'importants dégâts. Au cours du printemps et de l'été, les pucerons sont uniquement représentés par des femelles qui se reproduisent très rapidement, évidemment par parthénogenèse, vu l'absence totale de mâles. En règle générale même, ces femelles parthénogénétiques sont également vivipares, c'est-à-dire que leurs œufs ne sont pas pondus, mais se développent au sein même de l'organisme maternel; mais c'est là un détail qui ne change rien à la question qui nous occupe. A la fin de l'été se montre une dernière génération qui est, cette fois, composée de mâles et de femelles. Ceux-ci s'accouplent et les femelles pondent chacune un œuf fécondé qui passe l'hiver et se développe au printemps suivant en donnant une femelle parthénogénétique. Le cycle est alors fermé.

Ainsi, c'est à l'approche de la mauvaise saison que réapparaît la reproduction sexuée. Tenons-nous là le déterminisme du phénomène ? Probablement en partie. L'expérience montre en effet qu'en maintenant les pucerons à une température constante, la reproduction parthénogénétique se continue presque indéfiniment. C'est donc inversement la baisse de la température qui détermine le retour de la reproduction sexuée. A la vérité, les choses sont sans doute un peu plus compliquées que nous ne les exposons ici. Le facteur température n'est probablement pas le seul en jeu.

SPORULATION. La considération des ovules qui, comme ceux de l'Abeille, peuvent facultativement se développer avec ou sans spermatozoïde est particulièrement intéressante. Car cela nous permet de passer directement à la reproduction asexuée. Il n'y a aucune différence essentielle, en effet, entre l'ovule parthénogénétique de l'Abeille et la « spore », c'est-à-dire la cellule unique capable de reproduire en se développant l'organisme dont elle est issue.

Examinons un Champignon inférieur, une moisissure se développant à la surface d'un liquide sucré abandonné à lui-même; nous verrons à l'extrémité des rameaux constituant ce champignon, se former de petits corps unicellulaires ou *spores*. Semées sur un milieu nutritif, ces spores reproduiront directement une moisissure semblable à la première. Chaque spore a donc les mêmes propriétés que l'œuf parthénogénétique de l'Abeille.

BOURGEONNEMENT. Un pas de plus et nous arrivons au *bourgeonnement*. Ici ce n'est plus une cellule unique qui reproduit l'individu, mais un petit groupe de cellules. Sur le corps des Hydres d'eau douce se produisent souvent de petites protubérances ou bourgeons qui grandissent rapidement et prennent la forme et la structure de l'hydre mère. De même on sait que la plupart des espèces du genre Ail n'ont pas de fleurs, mais présentent en leur lieu et place ce qu'on nomme des bulbilles, c'est-à-dire des amas de quelques centaines de cellules indifférenciées. En milieu favorable, ces bulbilles reproduisent un pied d'ail semblable au progéniteur.

SCISSIPARITÉ. Le « bourgeon » au lieu d'être constitué par quelques cellules peut en comprendre un grand nombre : il peut même constituer une grande partie, voire la moitié du corps, ce qui nous conduit à ce mode de reproduction qu'on appelle la *scissiparité*. C'est le cas de certaines anémones de mer qui s'étranglent parfois par le milieu, se coupent finalement en deux et nous donnent deux individus au lieu d'un. Scissiparité et bourgeonnement, reliés d'ailleurs par toutes sortes d'intermédiaires, sont, en fait, des procédés de reproduction ayant exactement la même signification.

RÉGÉNÉRATION. Un pas encore, et nous nous trouvons en présence des phénomènes de régénération. Certains organismes amputés d'une de leurs parties ont la propriété de la reproduire. C'est le cas bien connu de la queue des Lézards et des Tritons, des membres de ces derniers animaux qui « repoussent » alors que quelque accident les a détruits. Ici, on ne peut plus parler de bourgeon ou plutôt ce « bourgeon » est représenté par l'organisme tout entier, moins la partie qui lui a été enlevée. Le bouturage, c'est-à-dire la formation de racines à la base d'un rameau de saule qu'on plante en terre n'est qu'une forme de la régénération.

La régénération a donc pour effet de reproduire un individu semblable à celui dont on est parti exactement comme le spore de moisissure ou le bulbille d'ail reproduisent une moisissure ou un ail.

CICATRISATION. A la limite, nous trouverions les phénomènes de cicatrisation, dont l'effet est encore de rétablir la forme primitive de l'individu.

Tels sont les principaux faits de reproduction asexuée, mis en série d'une façon qui paraît logique.

CONCLUSIONS. Reprenons ces faits en sens inverse. Il semble qu'un organisme possède une forme d'équilibre qui est sa forme spécifique et qu'il tende à la rétablir quand elle a été troublée. Cette tendance appartient à l'ensemble de l'organisme qui la manifeste par la cicatrisation, par la régénération. Mais elle appartient aussi à chacune des cellules de cet organisme, soit que ces cellules se présentent par groupes (bourgeonnement), soit qu'elles se présentent isolément (sporulation, reproduction par œufs parthénogénétiques).

Ainsi la propriété de reproduire l'individu ou les parties manquantes de cet individu appartient en principe à toutes les cellules aussi bien qu'à ses ovules; le fait que ces derniers ne peuvent se développer sans imprégnation spermatique ne vient pas à l'encontre de cette conclusion puisque la parthénogénèse artificielle montre que le spermatozoïde n'apporte à ce point de vue rien de nécessaire.

Seulement, dans un très grand nombre d'organismes, cette propriété se perd dans beaucoup de cellules trop différenciées; on concevrait difficilement qu'une fibre musculaire ou une cellule nerveuse puissent reproduire l'organisme complet dont elles sont issues. Mais bien souvent aussi ce sont les circonstances favorables qui manquent. Jamais peut-être les cellules de la surface de section d'une branche de saule n'auraient produit de racines si cette section n'avait pas été pratiquée. La propriété existe bien ici, mais elle ne se manifeste pas normalement.

Enfin, il est nécessaire de bien remarquer en terminant que la considération de la forme d'équilibre spécifique

et la tendance de l'organisme à rétablir cette forme perturbée ne doivent pas être regardées comme une explication. Ce n'est que la traduction en langage imagé des faits d'observation ou d'expérience. L'explication de la propriété d'une cellule ou d'un groupe de cellules de reproduire un organisme de forme spécifique déterminée ne peut venir que de la recherche des facteurs du développement.

CHAPITRE VII

LE DÉVELOPPEMENT

SOMMAIRE. — *Multiplication cellulaire et différenciation. — Préformation. — Epigénèse. — La Physiologie du développement.*

Nous sommes donc arrivés en présence de l'œuf, c'est-à-dire de la cellule formée par l'union d'un spermatozoïde et d'un ovule. Cet œuf va se développer et donner naissance à un nouvel être semblable à celui dont nous sommes partis. L'étude des transformations de l'œuf constitue l'*embryogénie*. Nous n'avons pas la prétention impossible de donner une idée même sommaire de cette science, nous nous bornerons seulement à montrer quels problèmes se posent ici et comment on s'efforce de les résoudre.

MULTIPLICATION CELLULAIRE ET DIFFÉRENCIATION.

Examinons l'œuf d'un oursin (fig. 9). Immédiatement après la fécondation, il se divise en deux, puis en quatre, puis en huit, en seize, enfin en un grand nombre de cellules. Il y a suivant l'expression employée *segmentation* de l'œuf. La première manifestation du développement ontogénique est donc une *multiplication cellulaire*.

Pourtant, dès ce moment un autre phénomène commence à se manifester ; les cellules situées à l'un des pôles de l'œuf sont plus grosses, plus chargées de produits de

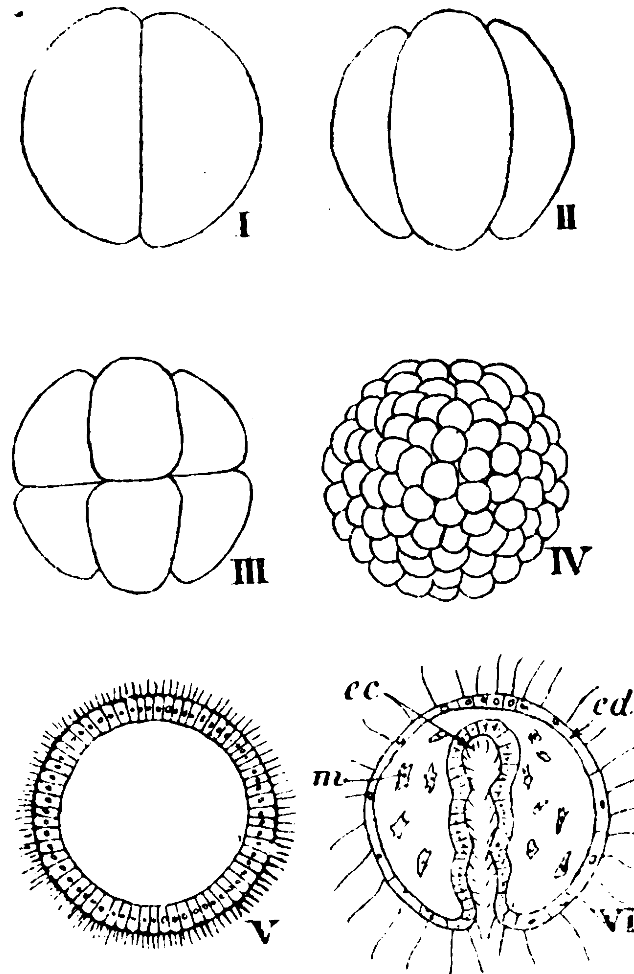


Fig. 9

Premiers stades du développement de l'oursin. I, stade à deux cellules ; II, stade 4 ; III, stade 8 ; IV, morula ou massif plein formé d'une grand nombre de petites cellules ; V, blastula, une seule assise de cellules ciliées ; VI, gastrula ; *ec*, ectoderme, *ed*, endoderme, *m*, mésoderme.

réserve que celles du pôle opposé. En un mot, les cellules

qui constituent le jeune embryon sont déjà dissemblables; c'est la *différenciation* cellulaire qui se manifeste déjà et qui ne va pas tarder à s'accentuer.

En effet, une cavité se montre au milieu du massif cellulaire qu'est alors l'embryon; puis la masse des grosses cellules s'invagine dans cette cavité. Peu après un nouveau tissu apparaît entre les deux feuillets cellulaires ainsi formés. Le feuillet extérieur formera l'épiderme de la larve; le feuillet intérieur le tube digestif; le feuillet moyen tous les tissus et organes compris entre ce tube digestif et cet épiderme.

Peu à peu, l'embryon s'allonge, se déprime sur une certaine zone dont les bords se relèvent en bras ciliés, le tube digestif prend la forme d'une outre terminée par un court intestin. Dès ce moment, un tube digestif est bien formé, fonctionnel même; la différenciation anatomique s'est donc définitivement installée. La différenciation histologique s'est accentuée bien davantage. Les cellules du tube digestif ne sont pas semblables à celles de l'épiderme : celles-ci diffèrent des cellules intermédiaires qui sont soit arrondies, soit étoilées, et dont certaines ont donné naissance aux longs spicules calcaires qui soutiennent les bras.

En un mot, multiplication cellulaire, suivie de différenciation histologique et anatomique, voilà ce qui caractérise le développement ontogénique de l'organisme métazoaire.

Le jeune oursin, tel que nous venons de le décrire sommairement, et qui porte alors le nom de Pluteus (fig. 10), ne ressemble nullement à l'adulte. C'est qu'il doit subir avant de prendre sa forme définitive une profonde modification, une révolution organique ou *métamorphose* qui introduit une discontinuité dans le développement. C'est là un phénomène superposé qui ne nous

intéresse pas pour l'instant. Chez la plupart des animaux, à l'inverse de l'oursin, le développement est continu; les cellules se multiplient sans cesse, les organes nouveaux apparaissent successivement, d'abord formés d'une masse de cellules toutes semblables, dans lesquelles ne tardent pas à se différencier des tissus différents. On sait en effet qu'un organe quelconque est toujours formé de différents tissus associés suivant un type déterminé.

Tels sont les faits; les progrès de l'embryogénie et de l'histologie nous les ont fait connaître dans leurs plus minimes détails. Il faut maintenant les expliquer, c'est-à-dire définir les facteurs qui les conditionnent.

Nous avons déjà examiné dans le chapitre précédent le déterminisme de la fécondation, c'est-à-dire de l'acte qui transforme la cellule ovule, incapable d'évolution ultérieure, en un œuf dont la première manifestation d'activité est la division. Il ne nous reste plus qu'à envisager le déterminisme de la différenciation.

PRÉFORMATION. Les anciens anatomistes expliquaient la formation des divers organes et appareils de la façon la plus simple. L'œuf contiendrait tout ce qui est nécessaire à la construction de l'être adulte. Les premiers observateurs qui ont connu le spermatozoïde (1) pensaient que cet élément renfermait un organisme tout formé semblable à l'adulte, mais de très petite taille, l'*homunculus*. L'ovule n'était que le milieu dans lequel il se développe.

D'autres (p. ex. Bonnet, 1778) étaient d'un avis opposé. C'est l'œuf qui aurait contenu *tout* ce qui est nécessaire à la formation du nouvel être. Le spermato-

(1) Découvert par Loewenhoeck.

zoïde ne lui aurait apporté qu'une impulsion à se développer.

Tous croyaient, et c'est là le point commun entre eux, que l'élément sexuel renferme sous une forme qui resterait à définir un adulte tout formé — d'où le nom de théories de la *préformation* données à l'exposé de leurs conceptions. Ces idées n'ont plus aujourd'hui qu'un intérêt historique. Cependant, on en retrouve des traces non équivoques dans les théories des particules représentatives. Admettre en effet que l'élément sexuel renferme un homunculus, ou qu'il contient autant de déterminants qu'il y a d'organes à former pour constituer un organisme, c'est tout un. Nous avons dit plus haut ce qu'il en faut penser et n'avons pas à y revenir.

ÉPIGÉNÈSE.

Aujourd'hui on admet que les modifications successives que subit l'organisme en développement sont conditionnées par des facteurs extérieurs à lui ou qui résultent de l'état auquel il est parvenu à la suite de ses développements précédents ou plus souvent encore d'une combinaison de facteurs de ces deux ordres. Le développement crée réellement dans son cours des choses nouvelles — il y a donc *épigénèse*.

La démonstration résultera de ce qui va suivre.

LA PHYSIOLOGIE DU DÉVELOPPEMENT.

On a donc essayé de déterminer la nature et le rôle des facteurs qui interviennent à tous les stades du développement pour réaliser le stade immédiatement ultérieur. Quelques exemples nous suffiront pour donner une idée des résultats obtenus.

La segmentation, c'est-à-dire le début même du déve-

loppement affecte une allure variable suivant les œufs. On sait depuis longtemps que la cause en doit être cherchée dans la quantité variable de vitellus qu'il contient. Si ce vitellus est rare et également réparti (oursin) les blastomères sont à peu près égaux. Est-il plus abondant et localisé surtout à l'un des pôles de l'œuf? Les blastomères (1) sont rapidement inégaux. Enfin dans les œufs (poule) où il est extrêmement abondant, le protoplasme formateur et son noyau n'ont plus le pouvoir de vaincre l'inertie de cette masse non vivante. Alors, l'œuf ne se divise qu'incomplètement, l'embryon s'ébauche seulement à l'un des pôles, celui qui contient justement le noyau. Voilà ce que montre l'observation simple. Il n'y a peut-être là que des coïncidences : l'expérience confirme la conclusion.

Si on centrifuge, en effet, un œuf de grenouille, on provoque une accumulation du vitellus à l'un des pôles. On le rend donc, question de taille mise à part, tout à fait comparable à un jaune d'œuf de poule. On constate alors que la segmentation se localise au pôle opposé à la masse vitelline comme chez la poule.

Le facteur principal qui donne à la segmentation d'un œuf donné son allure spéciale dans chaque cas n'est donc autre que la répartition caractéristique du vitellus dans cet œuf. Ici, nous avons affaire à un facteur d'origine interne.

Voici maintenant un facteur d'origine externe. La larve de l'oursin, le *pluteus*, possède de longs bras. Or, il suffit, comme Pouchet et Chabry l'ont fait (1885), d'élever des œufs d'oursin dans l'eau de mer pour que les spicules ne se forment pas, et *corrélativement* les bras

(1) On donne le nom de blastomères aux premières cellules qui dérivent de la segmentation de l'œuf.

(fig. 10). Ces derniers sont donc normalement conditionnés par l'appareil calcaire qui lui-même ne peut se former que dans un milieu pourvu de sels de chaux.

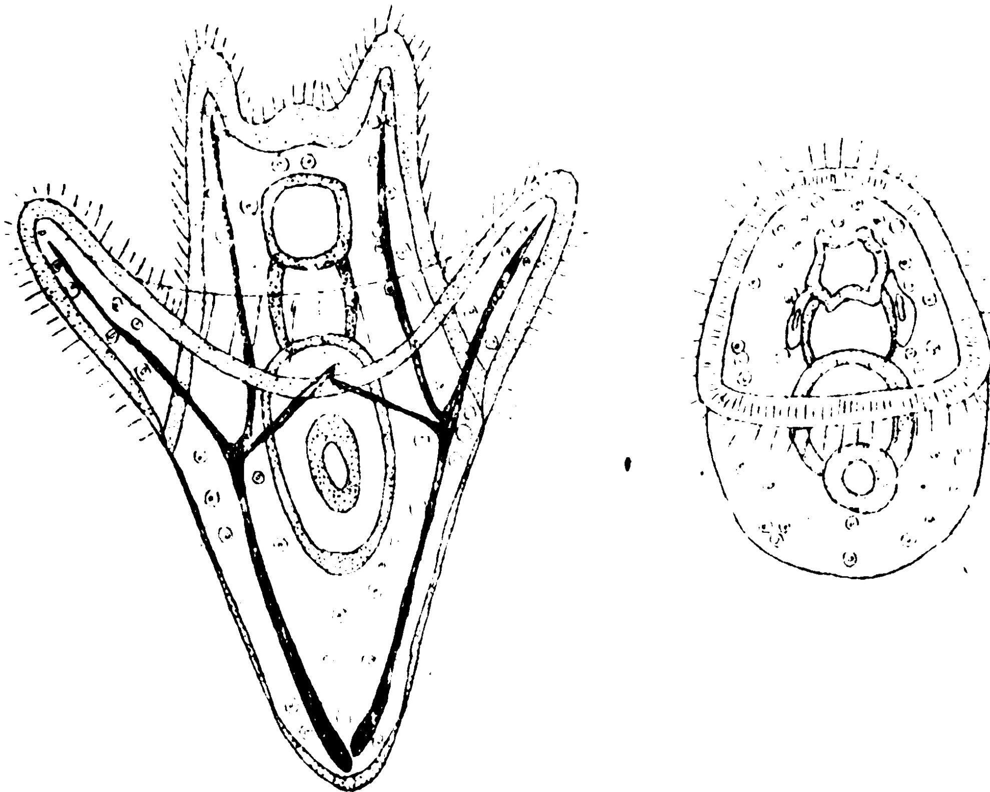


Fig. 10

Echinus microtuberculatus. — A gauche : larve Pluteus normale, montrant les spicules calcaires; à droite : larve élevée dans l'eau de mer dépourvue de calcaire; les spicules et, corrélativement, les bras ne se sont pas développés. (Imité de Herbst.)

Dans les deux exemples que nous venons de citer, il existe un facteur très apparent, tenant à la constitution même de l'organisme dans le premier, extérieur à lui dans le second. Ce qu'il faut bien comprendre, c'est que

cette manière d'envisager les choses est une simplification inexacte. A tout moment du développement, il y a lieu d'envisager l'action synergique des deux catégories de facteurs. Dans le cas de la segmentation, la disposition du vitellus est bien un facteur déterminant de la forme de la segmentation; mais cette segmentation elle-même ne se produirait pas si les conditions externes nécessaires, température, composition saline de l'eau de mer, etc., n'étaient pas réalisées. De même, les sels de chaux ne provoqueraient pas la formation de spicules et de bras chez d'autres larves que celles des oursins. En un mot, c'est dans l'interaction de l'organisme avec toutes ses qualités propres et du milieu, considéré comme l'ensemble des facteurs cosmiques, que l'on doit à tout instant du développement chercher la cause des transformations de l'organisme.

L'époque à laquelle apparaissent les différents facteurs est particulièrement intéressante à envisager. L'œil des Vertébrés se développe aux dépens de deux ébauches. L'une est une évagination des centres encéphaliques, qui s'avance de la profondeur vers la périphérie, c'est-à-dire vers le tégument : c'est la *vésicule optique* qui donnera naissance à la rétine. L'autre est formée par un épaississement de l'épiderme qui s'invagine ultérieurement : c'est la *fossette*, puis la *vésicule cristallinienne;* elle donnera le cristallin. Cette seconde ébauche se produit toujours en face de la précédente.

Or, il a été prouvé que la première ébauche *conditionne* la seconde qui ne saurait se développer en dehors de la *présence* de la première. Le facteur déterminant de la formation du cristallin est donc l'existence préalable de l'ébauche rétinienne.

Les Batraciens Anoures (grenouille, crapaud...) passent d'abord au cours de leur développement par une

première phase pendant laquelle ils vivent dans l'eau et affectent la forme *têtard*. Au bout de quelques semaines, ils subissent une métamorphose (perte de la queue, apparition des membres, etc.), à la suite de laquelle ils sortent de l'eau et prennent la structure et les formes de l'adulte.

Des études récentes ont montré qu'il y a un rapport étroit entre cette métamorphose et le développement d'un organe qui acquiert à ce moment sa structure définitive, la glande thyroïde. On suppose que cette glande déverse dans l'organisme une « hormone » (voir page 74) sous l'influence plus ou moins directe de laquelle se fait la métamorphose.

Ces deux exemples présentent ce caractère commun que le facteur déterminant, ébauche rétinienne et glande thyroïde, n'existe qu'à partir d'une certaine phase du développement. La cause de la formation du cristallin ou de la métamorphose de la grenouille *n'était donc pas présente dans l'œuf*, comme la théorie de la préformation le supposerait. C'est *au cours* du développement que cette cause a fait son apparition comme une *conséquence* de toute l'évolution antérieure. C'est bien ce qu'on veut dire en parlant d'épigénèse.

Il faut donc se représenter l'œuf fécondé, prêt à se développer, comme contenant seulement ce qui est nécessaire à la réalisation des premiers stades, ce qui ne peut se faire du reste que s'il trouve dans le milieu des conditions bien définies (facteurs externes). Par suite des premières modifications, certaines parties de l'embryon se trouvent vis-à-vis des autres dans des conditions telles qu'elles réagissent alors suivant un mode particulier, toujours suivant la nature propre de l'organisme. Et ainsi, de proche en proche, apparaissent à chaque stade, par l'effet même du développement, les conditions, les facteurs, qui détermineront le stade suivant.

CHAPITRE VIII

COMMENT SONT DÉTERMINÉS LE SEXE ET LES CARACTÈRES SEXUELS

SOMMAIRE. — *Définition. — Le Dimorphisme sexuel. — Epoque de l'apparition des caractères sexuels secondaires. — Le Rôle de la glande génitale. — La Glande interstitielle, les hormones. — Epoque de la détermination du sexe. — Théories diverses sur le déterminisme du sexe.*

DÉFINITION. Le sexe est essentiellement défini par la présence chez l'individu d'éléments reproducteurs d'un type déterminé, œufs ou spermatozoïdes. C'est ce qu'on appelle le caractère sexuel *primaire*. D'autre part, les deux sexes diffèrent très souvent l'un de l'autre par un certain nombre de particularités auxquelles on donne le nom de caractères sexuels *secondaires*. Leur ensemble constitue le *dimorphisme sexuel*. Il est très généralement répandu chez les Vertébrés et les Arthopodes, plus rare dans les autres groupes animaux, plus rare encore chez les végétaux. Certains organismes sont hermaphrodites, c'est-à-dire à la fois mâle et femelle (beaucoup de plantes phanérogames, les vers de terre, les escargots, etc.) et dans ce cas il ne saurait naturellement être question de caractères sexuels secondaires.

LE DIMORPHISME SEXUEL.

Il ne s'agit pas seulement de la dissemblance des organes génitaux, mais en général de toutes les particularités qui peuvent distinguer les deux sexes d'une même espèce.

A vrai dire, le dimorphisme atteint l'organisme tout

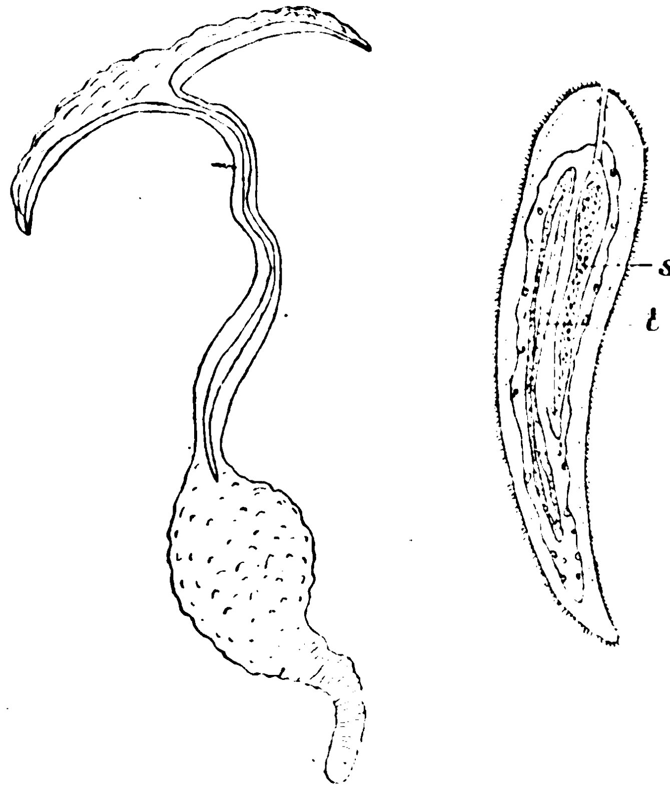


Fig. 11

Exemple de dimorphisme sexuel très accentué. A gauche : *Bonellia* femelle (ver marin du groupe des Géphyriens), *demi-grandeur naturelle;* à droite, mâle du même, *grossi* 40 *fois; s*, sac spermatique, *t*, rudiment du tube digestif, complètement clos et non fonctionnel.

entier. L'homme et la femme diffèrent par leur constitution anatomique, le rapport de poids et de volume de leurs divers organes, par exemple du cerveau et même

par les caractères fonctionnels des organes communs aux deux sexes. Parmi les exemples de dimorphisme sexuel vulgairement connus, il nous suffira de rappeler le coq et la poule, le faisan et la faisane, la crinière, apanage du mâle chez le lion, le chant harmonieux du serin mâle, les bois du cerf qui manquent à la biche, etc., etc...

La dissemblance entre les deux sexes est parfois extraordinaire. La fig. 11 représente la femelle d'un ver marin bien connu la Bonellie. Le mâle est tout différent; c'est un petit organisme cilié à peine gros comme un infusoire, par conséquent microscopique, dépourvu d'organes de nutrition (il vit en parasite sur la femelle) et réduit en quelque sorte à un testicule.

Les caractères sexuels secondaires sont souvent en rapport *direct* avec la fonction sexuelle. Les glandes mammaires des Mammifères sont dans ce cas. Mais souvent, il n'en est pas ainsi. Le bois du cerf, le plumage brillant des oiseaux mâles ne semblent avoir aucun rapport direct avec les fonctions qui président à la formation des produits génitaux, l'accouplement ou l'élevage des jeunes. Darwin, Wallace et leurs successeurs ont bien voulu voir dans les caractères de ce genre des particularités susceptibles d'aider à la rencontre des sexes, mais, sans nier absolument le fait il est bien certain qu'on a énormément exagéré dans ce sens.

ÉPOQUE D'APPARITION DES CARACTÈRES SEXUELS SECONDAIRES.

Le plus souvent, les jeunes des deux sexes se ressemblent; les différences sexuelles apparaissent plus tard, surtout au moment où les fonctions génitales s'éveillent. L'observation montre, par exemple, que l'évolution du plumage du coq suit plus ou moins exactement celle de son testicule. Il y a même

des caractères transitoires qui suivent les fluctuations de la fonction sexuelle. Chez la plupart des animaux, en effet, cette fonction est essentiellement saisonnière. Un exemple classique, aujourd'hui bien étudié expérimentalement, est celui de la grenouille. Le mâle possède aux pouces des membres antérieurs une callosité qui est à son

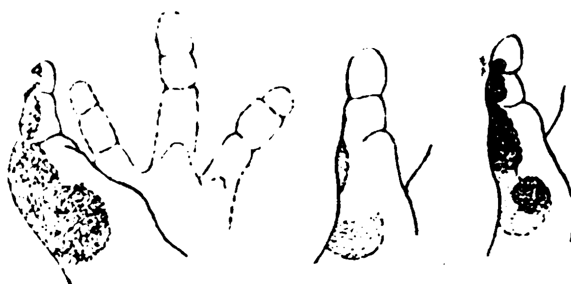


FIG. 12

Patte antérieure d'une grenouille mâle. A gauche, callosité du premier doigt, chez un individu normal; au milieu, même doigt d'un mâle ayant subi l'ablation des testicules; à droite, même doigt d'un mâle châtré ayant reçu des injections de suc testiculaire (d'après Weisenheimer).

maximum de dévelopement au moment de la reproduction et qui s'atténue ensuite pour augmenter de nouveau de volume lors de la saison suivante (fig. 12).

LE ROLE DE LA GLANDE GÉNITALE. Cette dernière remarque nous ouvre une vue sur le déterminisme probable des caractères sexuels secondaires, au moins de certains d'entre eux. Enlevons les testicules d'une grenouille mâle : les callosités ne se développeront plus; par contre, injectons sous la peau d'un mâle ainsi châtré de l'extrait de testicule, ou greffons-y un fragment de glande génitale : de nouveau ses callosités se développeront. Le rapport de cause à effet est évident. Il suffirait d'ailleurs

de rappeler le résultat bien connu du « chaponnage » sur la volaille. Les mâles n'acquièrent pas, si l'opération a été bien faite, les caractères distinctifs du coq.

On doit remarquer que la castration ne peut avoir d'effet que si elle est pratiquée chez des jeunes. Si on opère des animaux qui ont déjà acquis des caractères sexuels permanents, il va de soi que le résultat obtenu est nul ou à peu près (1).

On a pu serrer le problème de plus près. On sait aujourd'hui que la glande génitale peut, suivant le cas, soit déterminer l'apparition du caractère sexuel distinctif du sexe correspondant, soit empêcher le développement du caractère de sexe opposé. Quelques exemples vont illustrer cette notion.

La nature nous offre des expériences toutes faites. Voici la plus célèbre. Les crabes les plus communs de nos côtes portent souvent sous l'abdomen un parasite de forme singulière, sorte de sac rempli d'œufs ou d'embryons qui n'est autre qu'un Crustacé, extrêmement déformé par le parasitisme, la Sacculine. Pendant longtemps, on crut que ce parasite n'attaquait que les crabes femelles. Il est en effet très facile de reconnaître le sexe d'un crabe au simple examen extérieur, principalement par les caractères de l'abdomen. En y regardant de plus près (fig. 13), le célèbre biologiste français A. Giard constata qu'en réalité les Sacculines se fixent aussi bien sur les mâles que sur les femelles. Seulement, la présence du parasite empêche chez le mâle le développement de ses caractères sexuels distinctifs; son abdomen ressemble alors

(1) Chez l'homme et la femme, la castration chirurgicale de l'adulte n'a que des effets très faibles sinon nuls, au moins très inconstants. Au contraire, les eunuques châtrés dès leur jeune âge conservent des caractères d'infantilisme.

assez à celui de la femelle pour que la méprise soit facile. De plus, et c'est là le point essentiel, la présence du parasite empêche absolument l'évolution de la glande génitale chez le crabe porteur. Il y a castration sous l'influence du parasite : c'est ce que Giard a appelé la *castration parasitaire*. Concluons donc : l'absence du testicule empêche l'apparition des caractères sexuels secondaires des crabes de sexe mâle; c'est donc inversement que ces caractères se développent sous l'influence *directe* de la glande testiculaire.

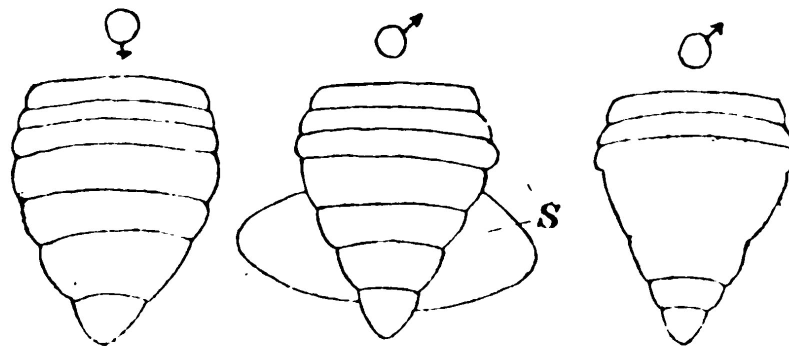


Fig. 13

Abdomen de crabes (*Carcinus mœnas.*) A gauche : abdomen de femelle normale; à droite : abdomen de mâle; au milieu : abdomen d'un mâle parasité par une Sacculine, S; remarquer sa ressemblance avec l'abdomen de la femelle. (Imité de Giard.)

L'action morphogène des glandes génitales peut s'exercer suivant un mode tout à fait inverse du précédent : elle peut empêcher le développement des caractères du sexe opposé. Ici encore, les faits naturels se présentent avec évidence. Chacun connaît le beau plumage du faisan mâle, notamment les longues plumes qui ornent sa queue. Or, il n'est pas rare de rencontrer de vieilles poules faisanes qui ont développé ces belles plumes caudales si caractéristiques du sexe opposé. A l'examen, on a cons-

taté que ces femelles n'avaient plus qu'un ovaire totalement atrophié. D'où la conclusion que chez les femelles de certains oiseaux l'ovaire normal fonctionnel empêche « inhibe » l'apparition des caractères sexuels secondaires du mâle.

LA GLANDE INTERSTITIELLE ; LES HORMONES.

Les glandes génitales, au moins chez les Vertébrés, sont des organes complexes. On distingue dans les testicules deux parties : la glande séminale proprement dite, productrice de spermatozoïdes; la glande interstitielle, formée de cellules de nature secrétrice ne jouant absolument aucun rôle dans la production des spermatozoïdes; tissu séminal et tissu interstitiel sont du reste intimement mélangés, et il est absolument impossible de les dissocier au moyen du scalpel. On peut cependant détruire le tissu séminal sans altérer le tissu interstitiel : il suffit de soumettre les animaux en expérience en l'espèce des lapins (Bouin et Ancel), à des applications répétées de rayons X. D'autre part on observe parfois des chevaux chez lesquels les testicules présentent une malformation correspondante : ils sont uniquement composés de tissu interstitiel. Or, tous ces animaux chez lesquels le testicule est réduit à la glande interstitielle présentent le même développement de leurs caractères sexuels secondaires que les mâles normaux. D'où la conclusion que le rôle morphogène du testicule n'appartient pas à cette glande prise en bloc mais seulement à la glande interstitielle. (Voir *addendum.*)

On a interprété ces faits en émettant l'hypothèse d'une substance que la glande interstitielle déverserait dans l'organisme et qui aurait pour effet de déterminer l'apparition des caractères sexuels secondaires; on ne l'a d'ailleurs jamais isolée, néanmoins on lui a donné le nom d'hor-

mone, sans que la création de cette expression ait ajouté quoi que ce soit à nos connaissances. Elle ne s'applique pas qu'à la sécrétion testiculaire, mais à celle de toutes les glandes closes, au moins de celles qui ont, comme dans le cas des glandes génitales, une action morphogène.

ÉPOQUE DE LA DÉTERMINATION DU SEXE.

Nous abordons maintenant une autre face du problème de la sexualité. Quels sont les facteurs qui déterminent le sexe, qui font que l'œuf d'un organisme quelconque évolue soit en mâle, soit en femelle? On a proposé un grand nombre d'explications; la plupart n'ont aucune valeur; celles qui méritent d'être discutées peuvent se grouper sous trois chefs selon l'époque à laquelle on peut considérer que le sexe de l'organisme en développement est irrévocablement fixé.

Le sexe peut théoriquement se déterminer à trois instants différents : soit plus ou moins postérieurement à la fécondation, au cours du développement, soit à l'instant même de l'union du spermatozoïde et de l'ovule; soit antérieurement à la fécondation; dans ce dernier cas il existerait des œufs prédestinés à évoluer en mâles, d'autres en femelles, la fécondation, non plus que les conditions dans lesquelles se font le développement de l'œuf fécondé et de l'embryon n'y changeraient rien.

L'idée que le sexe est déterminé par les conditions du développement se présente assez naturellement. On a même prétendu qu'il était possible de déterminer le sexe de l'enfant en imposant à la femme enceinte un régime alimentaire particulier. Malheureusement, la vérification expérimentale n'est aucunement favorable à cette manière de voir. En variant la nourriture de chenilles, de têtards, de grenouilles, on n'a provoqué aucune modification dans

la proportion des mâles et des femelles. Aucune donnée bien établie ne parle en faveur du déterminisme postérieur à la fécondation. Il y a au contraire des cas où il est manifeste qu'il n'en peut être ainsi, tels ceux de *polyembryonie.* Les Tatous, Mammifères de l'Amérique du Sud, ont des portées nombreuses de dix à douze individus tous *invariablement du même sexe.* Or, il a été démontré que tous les individus d'une portée proviennent d'*un seul* œuf, fragmenté en autant de parties qu'il doit y avoir de jeunes dans la portée. Cependant, les animaux à portées multiples donnent toujours naissance à des jeunes des deux sexes. On ne saurait admettre que les jeunes Tatous acquièrent leur sexe au cours du développement. La nature de l'œuf *unique* est ici seule en jeu.

Il est également peu probable que le sexe tienne à une propriété spéciale de l'ovule seul et soit déterminé avant la fécondation. Un botaniste suisse, Thury, avait été amené à supposer que l'ovule fécondé alors qu'il vient d'être pondu donne naissance à des femelles, et que plus tard il donne des mâles. Les éleveurs, en livrant leurs femelles reproductrices à la fécondation dès le début des chaleurs obtiendraient un maximum de femelles. Des essais donnèrent des résultats inconstants. La loi se vérifie parfois, mais non toujours. On a signalé d'autre part un certain nombre d'animaux à œufs de deux sortes : chacune d'elles donne des individus d'un sexe déterminé; mais la signification de ces cas est contestée. Bref, les faits ne permettent pas d'affirmer d'une façon précise que le sexe est déterminé avant la fécondation.

Au contraire, les exemples qui montrent que le sexe se fixe juste au moment de l'union du spermatozoïde et de l'ovule sont assez nombreux. Le plus célèbre est celui des Abeilles. La reine d'Abeille ne s'accouple qu'une fois dans sa vie. Les spermatozoïdes sont reçus dans une

poche spermatique où ils conservent longtemps leur vitalité. Rentrée à la ruche, la reine se met à pondre; mais, suivant le cas, les œufs qu'elle pond passent devant la poche spermatique qui s'entr'ouvre, et ils sont alors fécondés, ou qui reste close, et l'œuf reste vierge. Dans l'un et l'autre cas, ces œufs se développent mais les œufs fécondés donnent toujours des femelles, les œufs vierges, développés parthénogénétiquement, donnent invariablement des mâles. Ici le sexe est déterminé au *moment* de la fécondation. On pourrait citer bien d'autres exemples parlant dans le même sens. (Voir *addendum.*)

Si donc le sexe se détermine au moment de la fusion du spermatozoïde et de l'ovule on peut concevoir que ces deux éléments apportent chacun une tendance à déterminer le sexe dans un sens déterminé et que c'est de la neutralisation partielle de ces tendances que résulte le sexe du produit, ce sexe étant déterminé par l'élément dont la tendance est la plus forte en valeur absolue. Le problème qui se pose est alors le suivant : quels sont les facteurs qui peuvent influer sur les éléments sexuels pour modifier leurs tendances dans un sens déterminé?

THÉORIES DIVERSES DU SEXE.

Ces facteurs ont été cherchés dans divers sens. Thury suppose que le sexe se modifie suivant la durée qui s'est écoulée entre la ponte de l'ovule et la fécondation. Les essais expérimentaux tentés dans ce sens sont contradictoires. On a fait intervenir l'âge des progéniteurs, et la statistique montre qu'il y a peut-être quelque chose de vrai. Récemment, Robinson a essayé de montrer que la capsule surrénale pourrait avoir une influence sur l'ovule. En injectant à des cobayes le produit de sécrétion de cet organe, c'est-à-dire de l'adrénaline, le nombre des

descendants mâles s'élève, mais sans jamais atteindre 100 0/0; il y a donc d'autres facteurs en jeu.

Passons sur les théories contradictoires qui attribuent la détermination du sexe soit au *plus fort*, soit au *plus faible* progéniteur dont la formule même manque tout à fait de précision et concluons : Les tendances des éléments sexuels peuvent varier. On connaît quelques facteurs qui peuvent avoir une action; il y en a certainement d'autres que des recherches nouvelles feront connaître. Il est inutile dans ces conditions de chercher à définir à l'avance le sexe d'un enfant à naître, car il faudrait connaître tous les facteurs qui ont agi sur les éléments sexuels depuis leur formation jusqu'au moment où ils se sont conjugués.

Dans ces derniers temps, il a été possible de faire un pas de plus. On a constaté que certains animaux possèdent des spermatozoïdes de deux catégories qui diffèrent par la quantité de chromatine qu'ils contiennent et par sa constitution. Au contraire tous les ovules sont semblables. Il en résulte que les œufs qui proviennent de la fusion de ces ovules et de ces spermatozoïdes sont aussi de deux catégories distinctes. Or, les uns donnent des mâles, les autres, des femelles. A l'examen d'un œuf, on peut donc dire quel sera son sexe. Cette disposition a été trouvée chez certains Insectes.

Chez d'autres Insectes, de même que chez quelques Oiseaux, les spermatozoïdes sont au contraire d'un type uniforme et les ovules de deux espèces. Le résultat, lors de la fécondation, est d'ailleurs le même. Il y a formation de deux sortes d'œufs, les uns donnent des mâles, les autres des femelles.

Remarquons que tout cela confirme bien ce que nous avons dit plus haut au sujet du déterminisme du sexe à l'instant même de la fécondation.

CHAPITRE IX

LA NUTRITION
LES ÉCHANGES DE SUBSTANCES

SOMMAIRE. — *Définition de la nutrition. — L'Aliment, sa composition. — La Digestion. — Les Diastases. — La Mise en réserve. — Utilisation des réserves. — L'Assimilation. — Les Excréta. — Schéma des transformations de l'aliment dans l'organisme. — Cas particulier des végétaux à chlorophylle. — La Vie anaérobie; les fermentations. — Cycle du carbone et de l'azote.*

DÉFINITION DE LA NUTRITION.

Constamment, les êtres vivants absorbent des substances qu'ils puisent dans le milieu, constamment aussi ils rejettent dans ce même milieu les produits de leur activité. C'est ce perpétuel circulus de matière traversant l'organisme qui constitue la nutrition au sens le plus large.

L'ALIMENT. SA COMPOSITION.

Toute substance introduite dans l'organisme et qui s'y trouve utilisée d'une façon quelconque constitue par définition un aliment. Il est évident que l'aliment doit assurer à l'être vivant les éléments minéraux qui constituent sa propre substance, carbone, hydrogène, oxygène, azote,

phosphore, soufre, sodium, etc., etc., que l'analyse chimique de la matière vivante nous a fait connaître.

A ce sujet, il y a lieu de mentionner certains éléments, zinc, arsenic... dont les organismes ne demandent que de très faibles quantités. Il y a déjà longtemps que Raulin a montré que l'absence de zinc dans les liquides où on cultive certaines moisissures abaisse le poids de la récolte dans des proportions inattendues. Les études concernant ce métal ont été récemment étendues à divers phénomènes physiologiques : il semble y jouer un rôle de première importance.

La forme sous laquelle doivent se présenter ces différents corps simples n'est pas quelconque et sa considération est de première importance. Au premier rang nous devons placer l'oxygène. Sauf exception que nous verrons plus loin, aucun organisme ne peut se passer d'oxygène *libre*. Les autres éléments essentiels, carbone, hydrogène, azote, peuvent lui être fournis sous forme d'eau — il n'y a pas de vie sans eau, — d'hydrate de carbone (C, H, O), de substances azotées diverses et les différents organismes ont à ce dernier point de vue des exigences très variables. Mais il est une condition essentielle qui, sauf quelques cas très rares, ne souffre pas d'exception : une partie de l'aliment contenant du carbone doit obligatoirement consister en matières organiques provenant de la substance d'autres êtres vivants, animaux ou végétaux, ou de leurs produits de décomposition immédiate.

En d'autres termes, l'organisme ne saurait se nourrir uniquement aux dépens des éléments minéraux qu'il peut trouver dans le milieu. Seuls, l'oxygène et l'eau sont utilisables et d'ailleurs indispensables sous leur forme naturelle. Une graine qui germe ne réclame que de l'humidité et de l'air, mais elle trouve en elle-même tout le carbone organique qui lui est nécessaire sous forme

de produits de réserve (amidon, aleurone...). On peut faire vivre et se développer des moisissures (champignons inférieurs) dans une solution de sels minéraux divers, à la condition qu'on y ajoute un composé organique contenant par conséquent du carbone, par exemple du sucre de canne. Bref, les organismes ne peuvent vivre et se développer que s'ils trouvent dans leur milieu une substance organique plus ou moins complexe. Ils ne sauraient se nourrir uniquement au moyen des éléments minéraux.

Il existe cependant une exception et d'autant plus remarquable. Le sol arable contient des microbes capables de transformer les sels ammoniacaux qu'il contient toujours en azotates, par oxydation. Or, les recherches de Winogradsky ont montré que ces microbes se développent fort bien dans un liquide totalement dépourvu de matières organiques et par conséquent qu'ils se contentent de carbone engagé dans des combinaisons minérales simples, des carbonates, par exemple.

La forme alimentaire de l'azote mérite aussi considération. Les animaux exigent absolument de l'azote organique ou plus exactement des matières albuminoïdes, ou des produits encore assez complexes de la décomposition de ces substances. Les végétaux supérieurs, les plantes à chlorophylle, se nourrissent au moyen des sels ammoniacaux ou des nitrates contenus normalement dans la terre arable; sans doute aussi peuvent-ils accepter les acides aminés ou les amines, premiers produits de la putréfaction, qui prennent naissance normalement lors de la décomposition sur le sol des débris organiques de toute nature.

Enfin quelques organismes très simples, des bactéries qui vivent en symbiose (c'est-à-dire en association à bénéfice réciproque) avec des végétaux supérieurs, les

plantes de la famille des Légumineuses, sont capables de se nourrir aux dépens de l'azote de l'air. Ces bactéries des Légumineuses exigent, par ailleurs, du carbone organique qu'elles trouvent dans la plante avec laquelle elles ont contracté association.

LA DIGESTION. Les substances organiques alimentaires azotées ou non, introduites dans l'organisme par une voie quelconque, ne sont presque jamais utilisées sous leur forme première. Elles doivent subir une série de transformations qui constituent la *digestion*. Que ces transformations s'accomplissent au sein même du protoplasme, chez les organismes monocellulaires, ou qu'elles se produisent dans un « appareil digestif » complexe, leurs processus sont toujours les mêmes. L'aliment organique subit une dissolution accompagnée d'hydratation, de dédoublement en substances d'une structure chimique plus simple : d'autre part, les agents de cette décomposition sont des substances dont on connaît mal la nature, mais fort bien les propriétés, les *diastases* ou ferments solubles.

Prenons pour exemple ce qui se passe chez les Vertébrés supérieurs. Les aliments de toute nature ingérés par l'Homme peuvent en définitive se ramener à trois catégories : hydrates de carbone (sucre, amidon), graisses, substances albuminoïdes (albumine d'œuf, viande) ces dernières seules renferment de l'azote. Aucun de ces corps n'est directement utilisable par l'organisme. Le seul hydrate de carbone assimilable est la glucose; la seule substance azotée est la peptone; les graisses elles-mêmes ne peuvent passer dans le torrent circulatoire sous leur forme primitive.

Sous l'action de la salive ou plus exactement d'une

diastase qu'elle renferme, la *ptyaline*, l'amidon est hydraté et transformé en glucose soluble.

Dans l'estomac, la pepsine, diastase du suc gastrique, hydrate et dédouble les albuminoïdes.

Dans l'intestin enfin, le suc pancréatique continue et complète l'action des sucs précédents et de plus dédouble les corps gras. Il contient trois diastases : l'amylopsine, la trypsine et la stéapsine. C'est cette derrnière qui décompose les graisses en acide gras et glycérine avec fixation d'eau.

Des phénomènes semblables se retrouvent identiques chez les Végétaux. Quand une graine de haricot germe ou qu'un tubercule de pomme de terre développe ses bourgeons l'amidon de réserve qu'ils contiennent est solubilisé, hydraté, dédoublé, transformé en glucose par une diastase, l'*amylase*, voisine de la ptyaline ou de l'amylopsine. Le sucre de Canne, renfermé dans la racine pivotante d'une Betterave ou d'une Carotte, est utilisé au moment de la formation de la tige fleurie (on sait que la racine se « vide » à ce moment) mais après hydratation et dédoublement en glucose.

Tout cela est encore applicable aux organismes les plus inférieurs. Les Amibes, par exemple, se nourrissent de bactéries qu'elles digèrent dans des vacuoles. Les bactéries sont formées par une substance albuminoïde qui est décomposée par une diastase peptonisante que l'on a pu extraire du corps des Amibes.

En résumé, solubilisation, hydratation, dédoublement, telle est le schéma général de la décomposition de l'aliment organique dans l'être vivant.

LES DIASTASES. Les agents de ces décompositions sont donc des diastases. Il y a lieu d'insister sur la nature de ces substances. On peut, au moyen des

sécrétions qui ont des propriétés digestives, la salive, le suc gastrique, le suc pancréatique, etc., préparer des substances qui possèdent à un très haut degré les mêmes propriétés que le liquide dont on les a extraites. C'est ainsi qu'on extrait facilement la pepsine du suc gastrique. De même, on prépare avec l'orge germée une substance qui est capable de dédoubler l'amidon en glucose : c'est l'amylase, diastase dont nous avons déjà parlé. Et ceci nous amène incidemment à une importante remarque. La pepsine qu'on fabrique avec le suc gastrique est capable de dédoubler les substances albuminoïdes et de les peptoniser comme le suc gastrique lui-même et en dehors de l'estomac; de sorte que nous constatons que certains phénomènes vitaux peuvent être en quelque sorte isolés de l'organisme et reproduits intégralement en dehors de lui.

On est jusqu'ici mal fixé sur la nature des diastases. Pourtant, une de leurs propriétés les plus générales est susceptible d'apporter une certaine lumière. Il existe une étonnante disproportion entre la quantité de diastase agissante et la quantité de substance qu'elle peut transformer. Théoriquement au moins, une infime quantité d'amylase serait capable de saccharifier une quantité indéterminée d'amidon, si l'on prenait soin de faire disparaître le glucose produit au fur et à mesure de sa formation. Or, les réactions de ce genre sont connues en chimie depuis longtemps. On peut préparer de l'acide sulfurique en faisant passer de l'anhydride sulfureux mélangé d'oxygène sur du platine finement divisé, chauffé au rouge sombre. Le platine n'est pas altéré dans l'opération et une quantité donnée de ce métal peut provoquer la combinaison d'une immense quantité d'anhydride sulfureux et d'oxygène. Les réactions où l'un des corps n'agit ainsi que par sa seule présence sont classées parmi

les phénomènes de *catalyse;* le corps actif, le platine dans notre exemple, est un *catalyseur*. La disproportion signalée entre la quantité de corps actif et la quantité de corps transformé dans les actions diastasiques semble bien rapprocher les diastases des catalyseurs.

On est d'ailleurs allé plus loin. Les réactions de catalyse sont soumises à des lois mathématiques que les chimistes nous ont fait connaître. Or, d'après les recherches entreprises par les physiologistes, il semble bien que les réactions diastasiques suivent les lois de la catalyse.

LA MISE EN RÉSERVE.

L'aliment digéré, transformé en glucose, en peptone, etc., n'est pas toujours utilisé directement par l'organisme, du moins en totalité. Il est d'abord mis en réserve.

Un exemple est classique et célèbre. Le physiologiste français Claude Bernard a montré que le glucose qui résulte de la digestion et qui passe ensuite dans le sang, est arrêté au passage par le foie. Là, il est transformé en une substance de réserve, le glycogène, plus ou moins analogue à l'amidon végétal, et il se dépose dans le protoplasme des cellules hépatiques sous forme de gouttelettes visibles au microscope. Ultérieurement, ce glycogène est de nouveau transformé en glucose, puis repasse dans le sang qui le transporte aux organes où il est utilisé. Ce double processus constitue la fonction glycogénique du foie.

Le muscle au moment où il se contracte brûle de la substance hydrocarbonée. C'est qu'en effet, il contient lui aussi du glycocène, substance de réserve, qu'il utilise lors de son fonctionnement et qu'il reconstitue pendant les périodes de repos (Chauveau, Pfluger).

Réserves également l'amidon des graines, le sucre de

la racine de betterave, etc., que la plante utilise au moment de la germination ou de formation de la tige fleurie. Il n'est pas jusqu'aux organismes unicellulaires chez lesquels on ne rencontre des grains microscopiques, amidon, glycogène, grains protéiques, produits de réserve que l'organisme redissout s'il vient à manquer de nourriture ou plus généralement dans certaines phases bien déterminées de sa vie.

La mise en réserve, précédant la phase d'utilisation, est donc un phénomène assez général. Claude Bernard a beaucoup insisté sur les phénomènes de destruction des réserves. Comme nous venons de le voir pour le muscle, celles-ci sont utilisées au moment du fonctionnement dans le cas particulier de la contraction. Généralisant cette notion, Cl. Bernard a considéré la substance vivante comme composée de deux substances mélangées : l'une, la matière vivante proprement dite qui se détruit peu ou pas du tout au cours de la vie, l'autre la matière de réserve qui s'use rapidement lors des manifestations particulièrement importantes de l'activité vitale et qui se reconstitue ensuite. Cette notion qui a été discutée dans ces dernières années est vraisemblablement exacte dans une large mesure.

L'ASSIMILATION. Au moyen des substances assimilables, l'organisme fabrique de sa propre substance. C'est l'assimilation. Le fait est évident. L'œuf d'un être vivant est infiniment petit par rapport à l'adulte. Mais le protoplasme de cet œuf a la même constitution que celui de toutes les cellules de l'être arrivé à la fin de son développement. Pendant toute la durée de cette évolution il a donc dû se faire une synthèse continue de protoplasme; c'est-à-dire de substance vivante.

L'organisme a donc la propriété de faire lui-même la synthèse de sa propre substance.

LES EXCRETA. Voyons maintenant la seconde face du phénomène de nutrition, le rejet par les êtres vivants dans le milieu qui les entoure des produits de leur activité, c'est-à-dire des *excreta.*

Au premier rang, il faut placer l'acide carbonique CO^2. Tous les êtres vivants dégagent de l'acide carbonique par la respiration. Qu'on enferme en un espace clos un organisme quelconque et on constatera au bout d'un certain temps que le milieu s'est enrichi en acide carbonique. Le fait est trop connu pour que nous y insistions; il nous suffira de rappeler l'absolue généralité du phénomène.

Les produits azotés sont principalement l'urée, les urates et les corps voisins. Chez les végétaux on trouve de l'asparagine, de la leucine, de la tyrosine, qui représentent évidemment des produits d'excrétion, mais qui, en raison de la nature particulière de ces organismes, ne sont pas rejetés au dehors; ils sont simplement déposés dans les cellules. Les alcaloïdes, substances très toxiques (aconitine, morphine, etc.) qu'on rencontre dans les végétaux, les ptomaïnes, produits animaux très voisins, les résines, les gommes, la cire, etc., sont également des produits de la destruction de la substance vivante, des excréta.

SCHÉMA DES TRANSFORMATIONS DE L'ALIMENT DANS L'ORGANISME.

La pénétration des substances alimentaires dans les êtres vivants est un phénomène qui se produit constamment; de même l'excrétion est également ininterrompue; de telle sorte qu'il faut en définitive rechercher dans l'aliment l'origine de toutes les substances d'excrétion.

Si donc nous comparons la composition chimique de l'aliment total ingéré par un organisme avec celle de ses excréta, nous constatons que les seconds dérivent du premier par *dédoublement*, *hydratation*, et *oxydation*.

CAS PARTICULIER DES VÉGÉTAUX A CHLOROPHYLLE.

Chez ces derniers, il y a quelque chose *de plus*. En *présence de la lumière* les végétaux verts, c'est-à-dire pourvus de chlorophylle sont capables d'absorber l'acide carbonique, celui de l'air comme celui de leur propre respiration, de le décomposer en oxygène qui est rejeté dans le milieu et en carbone qui est immédiatement engagé dans des combinaisons organiques, amidon ou substances albuminoïdes. L'expérience démonstrative est classique. On place des plantes aquatiques dans un vase rempli d'eau chargée d'acide carbonique et on porte le tout à la lumière; des bulles gazeuses apparaissent sur la plante et s'accumulent bientôt à la partie supérieure du vase. Si on recueille ce gaz, on constate que c'est de l'oxygène. Le carbone a évidemment été retenu par la plante et comme on ne l'y retrouve pas sous sa forme simple c'est qu'il a été engagé dans une combinaison organique. Et en effet il est facile de montrer que dans ces conditions la plante se charge d'amidon.

Remarquons le *double* conditionnement du phénomène,

la présence de la chlorophylle est nécessaire, et il ne se produit qu'à la lumière. Les végétaux non verts ou les végétaux à chlorophylle maintenus à l'obscurité se nourrissent, excrètent suivant les processus que nous avons détaillés ci-dessus, exactement comme les animaux. Notamment, ils respirent, c'est-à-dire absorbent de l'oxygène, dégagent de l'acide carbonique. Chez les végétaux verts et à la lumière, un *autre* phénomène *s'ajoute* et se *superpose* aux précédents. L'acide carbonique est décomposé, celui qui est normalement contenu dans l'atmosphère et à plus forte raison celui qui est produit incessamment par la respiration. L'assimilation chlorophyllienne masque donc la respiration. Et ainsi s'explique qu'à la lumière les végétaux verts dégagent de l'oxygène et absorbent de l'acide carbonique.

La conséquence essentielle de l'assimilation chlorophyllienne, c'est que les végétaux verts peuvent se passer d'aliment organique. Ils font eux-mêmes la synthèse de leur propre substance au moyen du carbone qu'ils tirent de l'atmosphère, et de l'azote qu'ils trouvent dans le sol sous forme d'azotates ou d'ammoniaque.

LA VIE ANAÉROBIE; LES FERMENTATIONS.

Certains organismes microscopiques, bactéries, champignons inférieurs, ont parfois un mode de vie un peu particulier. Ils peuvent se passer d'oxygène libre et même dans certains cas ne le peuvent supporter; ils sont immédiatement tués. Ce sont des organismes *anaérobies* par opposition à tous les autres qui sont *aérobies.*

Examinons, en effet, de la levure de bière, ce micro-organisme qui fait fermenter les liquides sucrés, notamment le moût, la bière. Si on l'ensemence dans un liquide sucré contenu dans un vase très profond, de telle

sorte que le milieu ne puisse renouveler facilement son oxygène, ce champignon microscopique n'en vit pas moins fort bien. Seulement, il décompose le sucre du liquide où il vit et dans une proportion énorme, formant des produits d'excrétion dont les principaux sont l'alcool et l'acide carbonique. On dit qu'il fait *fermenter* le sucre. La levure de bière est donc à la fois un organisme anaérobie (1) et un *ferment*.

On désigne d'une façon générale, sous le nom de ferments, les microorganismes aérobies ou anaérobies qui, par suite des nécessités de leur nutrition, décomposent en très grande quantité un des principes immédiats qu'ils trouvent dans leur milieu. Ainsi le *mycoderma aceti* fait fermenter l'alcool qu'il oxyde et transforme en vinaigre, ainsi encore le *micrococcus uraee*, qui vit dans l'urine en décomposition aux dépens de l'urée qu'il hydrate et transforme en carbonate d'ammoniaque.

Certains micro-organismes ferments jouent dans l'économie de la nature un rôle considérable. Ce sont ceux qui décomposent la matière des autres organismes morts, transformant leurs substances hydrocarbonées en eau et en acide carbonique et leurs substances azotées en carbonate d'ammoniaque, en azotate, voire en acide carbonique et en azote libre.

CYCLE DU CARBONE ET DE L'AZOTE DANS LA NATURE.

Nous en savons assez pour nous faire une idée de ce cycle. Les végétaux verts, avec l'aide de la lumière, décomposent l'acide carbonique de l'air et retiennent le carbone et l'engagent dans les combinaisons hydrocarbonées; celles-ci se combinent à l'azote

(1) Anaérobie *facultatif*, car elle végète également fort bien en présence de l'oxygène libre.

absorbée par les plantes qui l'extraient du sol sous forme de sels ammoniacaux ou d'azotates; ainsi se constituent les substances albuminoïdes, base chimique du protoplasma. C'est, si l'on peut dire, la phase constructive.

Alors vient la phase destructive. Les végétaux verts servent de nourriture aux herbivores qui, eux-mêmes, alimentent les carnivores. Dans tous les cas, ces organismes décomposent et oxydent les hydrates de carbone pour former de l'acide carbonique et de l'eau avec l'aide de l'oxygène libre de l'air. Les substances albuminoïdes sont hydratées, partiellement décomposées et transformées en corps plus simples, urée ou composés analogues, rejetés dans le milieu. Les micro-organismes ferments s'emparent de cette urée et la transforment en ammoniaque ou en acide azotique. D'autres micro-organismes s'emparent du cadavre des organismes de toute nature, le décomposent et donnent en définitive de l'acide carbonique, de l'eau, des sels ammoniacaux et des azotates, qui seront à leur tour utilisés par les végétaux verts. Nous sommes revenus au point de départ.

CHAPITRE X

LA NUTRITION (SUITE). — LES ÉCHANGES D'ÉNERGIE

SOMMAIRE. — *Le Circulus d'énergie dans l'être vivant. — L'énergie dans le monde physique; lois de l'énergétique. — Energétique biologique. — Rôle accessoire de la chaleur. — Le cycle de l'énergie dans la nature.*

LE CIRCULUS D'ÉNERGIE DANS L'ÊTRE VIVANT.

Nous venons de voir que les substances alimentaires introduites dans l'organisme subissent des transformations qui, dans l'ensemble, se résument en une série d'hydratations et d'oxydations. Or ces réactions supposées accomplies *in vitro*, c'est-à-dire en dehors de l'organisme, dégagent quand elles ont lieu une certaine quantité d'énergie qu'on mesure habituellement sous forme de chaleur. Nous n'avons aucune raison de supposer qu'il n'en est pas de même dans l'être vivant. Que devient donc cette énergie? Les organismes la rendent au monde extérieur sous forme de chaleur, de mouvement, voire d'électricité ou de lumière. Les aliments, l'eau, l'oxygène absorbés par les êtres vivants sont donc capables, en réagissant les uns sur les autres, de mettre de l'énergie en liberté; ils représentent de l'énergie *potentielle*. Cette énergie

devient donc actuelle par suite du fonctionnement organique.

On peut donc dire que parallèlement au circulus des substances, les organismes sont le siège d'un circulus d'énergie dont nous allons rechercher les modalités et les lois.

L'ÉNERGIE DANS LE MONDE PHYSIQUE; LOIS DE L'ÉNERGÉTIQUE.

Les physiciens nous ont montré que les échanges énergétiques qui ont lieu dans le monde minéral obéissent aux deux lois suivantes (1).

Quand de l'énergie d'une forme donnée se transforme en une autre, la transformation se produit suivant un certain rapport d'équivalence. L'expérience montre, par exemple, que lorsque de l'énergie calorifique se transforme en énergie mécanique, comme cela a lieu dans nos machines thermiques, 1 *calorie* équivaut invariablement à 425 *kilogrammètres*. C'est le principe de la *conservation de l'énergie* mis en évidence par Seguin, Robert Mayer et Joule.

D'autre part, la transformation *intégrale* d'une certaine quantité d'énergie d'une forme donnée en une quantité équivalente d'une autre énergie n'est pas toujours possible. Par exemple, on transformera facilement de l'énergie mécanique en chaleur, mais la mutation inverse n'est *pas intégralement* possible. Dans une transformation de ce type, il y aura *toujours* une certaine quantité de chaleur qui échappera et qui se retrouvera sous forme de chaleur, mais dans des conditions telles que sa transformation ultérieure en énergie mécanique sera plus diffi-

(1) Pour de plus amples détails voir le volume de Physique de cette collection.

cile. L'énergie calorifique nous apparaît donc en quelque sorte comme d'une qualité inférieure à celle de l'énergie mécanique et toute mutation de la première en la seconde en « dégrade » une certaine quantité. C'est le principe de Carnot ou de la *dégradation de l'énergie.*

L'ÉNERGÉTIQUE BIOLOGIQUE. Voyons l'application de ces principes à la biologie. Tout d'abord, nous n'avons aucune raison de supposer que l'énergie mise en jeu par les êtres vivants est régie par d'autres lois que l'énergie du monde physique.

Considérant un animal quelconque, établissons son bilan énergétique. Les aliments, l'eau, l'oxygène qu'il absorbe représentent une certaine quantité d'énergie; ses égesta et excréta également, mais une quantité plus faible. La différence mesure l'énergie qui a été utilisée réellement par l'organisme, ce dernier supposé n'avoir pas varié de poids pendant la durée de l'expérience. Qu'est devenue cette énergie? *Elle a été dégagée par l'organisme sous forme de chaleur ou de mouvement.* Tenant compte des coefficients de transformation (principe de la conservation) on constate alors que l'énergie alimentaire est égale à l'énergie mise en liberté par l'animal, dans la limite des erreurs d'expériences. Il en résulte une première conséquence : L'organisme n'utilise que l'énergie chimique contenue dans ses aliments; il n'utilise donc aucune autre énergie de forme inconnue.

Une seconde conséquence se dégage ainsi nettement. Dans le monde physique les échanges énergétiques sont des phénomènes généralement réversibles; si l'électricité peut être convertie en chaleur, celle-ci en énergie mécanique, les transformations inverses sont également possibles. Dans l'organisme, le sens des mutations d'énergie

semble invariablement fixé. L'énergie chimique contenue dans les aliments se transforme en mouvement, électricité, lumière et avant tout en chaleur ; mais la transformation inverse ne semble pas possible ; jamais on n'a pu saisir dans un organisme quelconque une transformation de chaleur en une autre forme d'énergie.

Nos machines thermiques transforment de la chaleur en mouvement mécanique. Il n'en saurait être ainsi chez les organismes. D'après le principe de Carnot, chaque fois que de la chaleur est transformée en mouvement, une certaine quantité est dégradée, c'est-à-dire tombe à une température plus basse. Cela implique dans la machine l'existence de deux régions : l'une à haute température (chaudière), l'autre à plus basse température (condenseur, atmosphère). Rien d'analogue n'existe dans l'organisme. Le mouvement mécanique dans les êtres dérive donc *directement* de l'énergie chimique sans passer par la forme chaleur.

Les phénomènes vitaux se déroulent donc dans un sens bien défini qui ne peut être renversé.

ROLE PARTICULIER DE LA CHALEUR.

Tous les êtres vivants dégagent de la chaleur ; ils en produisent constamment, et cela est particulièrement évident chez les animaux dits à sang chaud (Mammifères et Oiseaux) qui conservent comme l'Homme une température constante, malgré une déperdition continuelle. Des expériences précises ont montré que les Vertébrés dits à sang froid (Reptiles, Batraciens, Poissons), des animaux plus inférieurs encore en organisation, voire les végétaux, dégagent également de la chaleur. Que représente donc cette forme d'énergie pour les êtres vivants ? C'est la forme sous laquelle est en définitive rendue au milieu

presque toute l'énergie introduite dans l'organisme par les aliments; c'est une sorte d'excrétion et rien de plus.

ROLE ACCESSOIRE DE LA CHALEUR.

La chaleur a d'ailleurs un rôle différent, mais sans rapport direct avec les mutations énergétiques. Elle conditionne les phénomènes vitaux en ce sens que ces derniers ne peuvent s'accomplir normalement qu'entre certaines limites de température. Il n'y a là rien de spécial aux êtres vivants. Toutes les réactions chimiques sont dans le même cas. De l'hydrogène et de l'oxygène resteront indéfiniment mélangés sans se combiner pour donner de l'eau si on n'approche du mélange la flamme dont la température peut amorcer la réaction. Or les organismes sont le siège de nombreuses réactions chimiques qui exigent des conditions de température bien définies. Parfois, les limites entre lesquelles cette température peut varier sont très rapprochées, et nous voyons alors, c'est le cas des Mammifères, s'installer toute une série de dispositifs qui ont pour effet de régulariser la dissipation de la chaleur et de maintenir la température de l'organisme sensiblement constante. Mais la chaleur n'a là en somme qu'un rôle accessoire qui n'entre pas dans le cadre des mutations énergétiques caractéristiques de la vie.

LE CYCLE DE L'ÉNERGIE DANS LA NATURE.

Parallèlement au cycle des substances, on doit considérer un cycle énergétique. Les plantes vertes construisent de toutes pièces des substances organiques albuminoïdes et hydrates de carbone. Cette synthèse absorbe beaucoup d'énergie qui est empruntée à la radiation solaire. On se rappelle que les plantes vertes ne décom-

posent l'acide carbonique de l'air *qu'à la lumière*, pour en retenir le carbone.

Ces substances chargées d'énergie chimique potentielle sont utilisées par les animaux. Ceux-ci les décomposent en mettant corrélativement en liberté l'énergie qu'elles contiennent et cela, nous l'avons vu, sous forme de *chaleur;* les micro-organismes complètent dans le même sens l'œuvre commencée par les précédents.

Ainsi, l'énergie lumineuse fournie par le soleil se retrouve en définitive tout entière sous forme de chaleur. Or, cette forme d'énergie est inutilisable par les organismes vivants. Le cycle n'est donc pas fermé. Les êtres vivants doivent donc être considérés comme de puissants dégradateurs d'énergie.

CHAPITRE XI

L'ORGANISME ET LE MILIEU

SOMMAIRE. — *Définition; le milieu et la variation. — La lumière. — La température. — L'humidité. — Les facteurs chimiques. — Interactions des organismes. — Variation physiologique, variation morphologique, durée de la variation. — Variation adaptative.*

DÉFINITION : LE MILIEU ET LA VARIATION.

Dans les chapitres précédents, nous avons sommairement étudié les diverses manifestations de l'activité organique en ayant soin de préciser, chaque fois que cela a été possible, le rôle des forces physico-chimiques dans le déterminisme de cette activité.

Il arrive que les êtres vivants se trouvent soumis de la part du *milieu* où ils vivent à des influences qui orientent leur activité dans un sens un peu différent de celui qu'elles suivent habituellement; il en résulte souvent des modifications de forme ou de structure de certains organes. Les individus qui en sont affectés sont un peu différents de leurs congénères. Ils sont *variés* par rapport à eux. Chacun sait, par exemple, que l'exercice provoque le développement des muscles. Le forgeron, aux énormes biceps acquis sous l'influence du travail longtemps pratiqué, est un individu varié par rapport à la norme de l'espèce humaine.

Par *milieu*, nous entendons l'*ensemble* des conditions dans lesquelles vit un organisme. C'est dire qu'il comprend, non seulement tous les facteurs cosmiques, lumière, chaleur, humidité, des facteurs chimiques comme la qualité de la nourriture, mais encore les influences de toute nature qui peuvent affecter l'organisme, comme par exemple la présence ou le voisinage d'autres êtres vivants.

Nous examinerons tout d'abord l'influence des divers facteurs du milieu, puis quelques-uns des caractères de la variation considérée en elle-même.

LA LUMIÈRE. La lumière a souvent une grande influence sur la coloration des animaux : elle semble, dans beaucoup de cas, favoriser le développement des pigments. Chacun sait, par exemple, que la forte lumière du bord de la mer fait brunir la peau. On connaît communément que les poissons plats Soles, Turbots, Plies, etc., présentent un côté pigmenté gris ou jaunâtre et un côté blanc. Or, ces poissons vivent sur le fond sableux des mers relativement peu profondes, couchés sur le côté décoloré. Il suffit d'éclairer ce côté blanc en disposant un de ces animaux dans un aquarium à fond de verre pour provoquer la pigmentation. L'action de la lumière se trouve donc ainsi démontrée.

LA TEMPÉRATURE. La température à laquelle est maintenu un organisme modifie souvent ses caractères morphologiques. Beaucoup d'expériences ont été faites sur les Insectes et on a fréquemment constaté que les adultes, issus de larves et de nymphes maintenues à une température assez élevée, avaient tendance à se pigmenter fortement.

L'HUMIDITÉ. L'humidité agit souvent dans le même sens. Chez les végétaux, l'action du *milieu aérien* ou du *milieu aquatique* sur la forme des feuilles a été démontrée depuis longtemps. Le cas de la *Sagittaire* est particulièrement caractéristique. Cette plante, qui pousse dans les étangs ou sur le bord des rivières, possède des feuilles de trois sortes : les feuilles entièrement submergées, sont *rubanées*, c'est-à-dire longues, étroites, à bords parallèles; sur la surface de l'eau s'étalent les feuilles *nageantes*, en forme de cœur, tandis que les feuilles *sagittées* élèvent verticalement dans l'air libre leur fer de lance. Or, dans une eau suffisamment profonde, où la Sagittaire ne peut qu'à peine atteindre la surface, toutes les feuilles sont rubanées. En milieu, au contraire, très peu profond, il n'y a plus de feuilles rubanées. La vérification expérimentale a été faite. L'influence du milieu sur la forme des feuilles est donc certaine.

LES FACTEURS CHIMIQUES. Les facteurs chimiques ont aussi une grande importance. Il existe, comme on sait, des animaux aquatiques marins et d'autres qui vivent dans l'eau douce. Il est rare que les premiers ne meurent pas quand on les transporte dans l'eau douce et inversement. Pourtant, en modifiant le milieu très lentement, on arrive parfois à acclimater certains animaux d'eau douce à l'eau salée, ou d'eau salée à l'eau douce; fréquemment, il s'ensuit des modifications morphologiques importantes. Citons un exemple où l'expérience s'est faite d'elle-même dans la nature. De petits Crustacés Phyllopodes, les *Artemia salina*, qui vivent habituellement dans l'eau de lacs légèrement salés, furent entraînés par accident dans un lac à salure beau-

coup plus élevée. Un naturaliste russe qui observa le phénomène put constater qu'au bout d'un certain temps, les *Artemia salina* s'étaient peu à peu transformés et rapprochés par leur forme d'une espèce voisine, *A. Mülhauseni*, déjà connue pour habiter les eaux très salées.

Des recherches récentes ont précisé dans certains cas l'influence du mode d'alimentation. Houssay a nourri des poules, animaux normalement granivores, avec de la viande, et cela, pendant plusieurs générations. Il a constaté des modifications dans diverses parties de l'organisme, dont les plus apparentes sont celles qui atteignent l'estomac. Le gésier des oiseaux granivores est un organe très musculeux, dont la muqueuse interne est recouverte d'une épaisse et dure couche cornée. Chez les poules carnivores, le gésier diminue de volume, sa paroi musculaire s'amincit, son revêtement corné devient moins important et plus mou ; il y a bien d'autres modifications : l'intestin se raccourcit, le foie augmente, la fécondité (nombre d'œufs pondus) diminue, etc.

INTERACTIONS DES ORGANISMES.

Nous pourrions citer un nombre considérable d'autres exemples démontrant l'influence du milieu, facteurs cosmiques, nourriture, sur la morphologie des êtres vivants. Il nous faut plutôt examiner maintenant les réactions réciproques des organismes.

Tous les êtres vivants qui entourent un organisme quelconque font en quelque sorte partie de son milieu, dans la mesure où ils peuvent avoir une action quelconque. Il en résulte parfois des modifications. Un exemple bien connu est celui des galles. Tout le monde a vu sur le chêne, ces sortes de petites pommes irrégulières rou-

geâtres ou jaunes qu'on appelles vulgairement des galles; on connaît aussi ce corps chevelu, nommé bédeguar, qui termine souvent les rameaux des Rosiers. L'une et l'autre sont produits par un très petit Insecte Hyménoptère, un *Cynips*, qui pond ses œufs à l'extrémité des branches du Chêne ou du Rosier. Sous l'influence de ces œufs, peut-être aussi d'un venin inoculé par l'Insecte piqueur en même temps que l'œuf, le végétal développe les formations dont nous venons de parler.

Pous ne pas multiplier indéfiniment les exemples, nous terminerons par le plus important, au point de vue pratique, de tous les cas d'interaction des organismes. Il s'agit de l'influence des micro-organismes. Il est devenu de connaissance vulgaire que beaucoup de maladies de l'homme et des animaux sont déterminées par la pullulation dans leur corps de micro-organismes divers, de microbes, dont les plus importants sont les *bactéries*. Au moment où le microbe commence à se développer dans l'organisme atteint, celui-ci se « défend » par des processus très compliqués, phagocytose, bactériolyse, etc., dont l'étude n'est pas encore complètement terminée. Or, si l'organisme atteint sort vainqueur de cette sorte de lutte, il arrive assez souvent qu'il a acquis des propriétés particulières; il est *immunisé* vis-à-vis du microbe correspondant. Cela veut dire qu'inoculé de nouveau, ses mécanismes de défense se déclanchent avec une rapidité telle que le microbe est rapidement mis hors de cause, détruit, éliminé. Ceci explique que certaines maladies, la fièvre typhoïde, notamment, n'atteignent généralement qu'une fois la même personne. Une première invasion du Bacille d'Eberth confère donc une immunité qui peut durer toute la vie. Il y a ainsi sous l'influence des bactéries une véritable modification du fonctionnement physiologique. C'est une variation au même titre que toute autre.

VARIATION PHYSIOLOGIQUE, VARIATION MORPHOLOGIQUE; DURÉE DE LA VARIATION.

Nous voyons donc combien est diverse et puissante l'action du milieu sur les organismes. Quand les conditions dans lesquelles il vit viennent à changer plus ou moins profondément, il réagit, tantôt simplement par une modification de ses processus physiologiques, souvent aussi par une transformation morphologique plus ou moins profonde.

Ajoutons enfin que la durée de la variation, quand la cause initiale vient à disparaître, est très variable. Parfois, elle s'atténue rapidement; mais elle peut devenir permanente. Ici se poserait la question de savoir si ces variations sont transmissibles par hérédité aux descendants des individus variés. Mais l'étude de cette question dont l'importance théorique est considérable, trouvera mieux sa place dans les chapitres suivants.

LA VARIATION ADAPTATIVE.

Souvent, une variation déterminée par le milieu est sans aucun rapport direct avec la cause. Mais parfois, cette variation *semble* avoir pour effet de s'opposer à la cause qui l'a produite ou pour mieux dire de rétablir entre le milieu et l'organisme un équilibre qui se trouve accidentellement rompu par une modification quelconque de ce milieu. Dans ce cas, la variation est dite *adaptative.*

Variation adaptative évidemment que celle qui confère l'immunité contre la fièvre typhoïde à un organisme atteint une première fois de cette maladie. Variation adaptative que l'augmentation compensatrice du rein unique de l'individu qui a subi une néphrectomie unilatérale.

A considérer les choses au point de vue physiologique pur, on pourrait dire que la vie est une perpétuelle adap-

tation. En effet, les conditions du milieu dans lequel vit un organisme, si stables qu'elles puissent sembler n'en subissent pas moins de continuelles variations. La température, la lumière, l'alimentation, tout cela se modifie sans cesse. A chaque variation du milieu, l'organisme réagit par une modification dans l'intensité, voire dans la nature de ses échanges physico-chimiques. Il s'est même constitué chez les organismes supérieurs des mécanismes dont le fonctionnement a pour effet d'assurer la constance de certaines conditions du milieu susceptible d'éprouver d'importantes variations. Tel est le mécanisme régulateur de la température des animaux dits à « sang chaud » (ou plutôt à température constante) qui maintient l'uniformité de la température du milieu intérieur en dépit des variations de celle de l'atmosphère. Dans des cas de ce genre, toute modification du milieu a immédiatement sa contrepartie dans l'organisme; le système des échanges physico-chimiques entre cet organisme et le milieu se modifie de telle sorte que la continuité de la vie soit toujours possible.

Ainsi, ce qui caractérise un organisme individuel donné, c'est-à-dire sa forme et les particularités des échanges de toute nature qui s'effectuent entre lui et le milieu *n'a absolument rien d'immuable*. Sous l'influence de la variation des facteurs de ce milieu, échanges et forme se modifient parfois très profondément. Très souvent, ces modifications réalisent une véritable adaptation, ce qui veut dire que l'organisme s'est transformé soit physiologiquement, soit même morphologiquement, de telle sorte qu'il soit mis en harmonie avec les nouvelles conditions qui lui sont faites.

Il faut cependant bien comprendre que tout cela n'est pas général et qu'il y a lieu de faire des réserves. Si on considère exclusivement les faits d'adaptation physiologique ou morphologique, tout l'organisme se présente à

nous comme une machine parfaitement montée, susceptible de se modifier d'elle-même suivant le but à atteindre. Et l'idée finaliste se réintroduit aisément dans les conceptions des physiologistes.

Il s'en faut cependant, et il importe d'y insister, que toutes les variations soient adaptatives. L'organisme infecté par des bactéries pathogènes réagit en modifiant ses réactions calorifiques : la température s'élève, c'est la fièvre. On l'a considérée comme un processus de défense, donc comme une variation adaptative. Ce n'est pas démontré; en tout cas, le processus est bien imparfait puisque la température peut s'élever au point de tuer le malade. Il n'y a là plus rien d'adaptatif.

Il en est souvent de même de la variation morphologique. On ne saurait guère interpréter comme cas d'adaptation la pigmentation de certains papillons sous l'influence de la chaleur, la transformation des Artemies sous l'effet de la salure, et beaucoup d'autres exemples analogues.

CHAPITRE XII

LES MOUVEMENTS. — LA PSYCHOLOGIE ANIMALE

SOMMAIRE. — *Définitions. — Différentes formes de mouvements. — Facteurs externes pouvant déterminer ou modifier les mouvements. — Tropismes et sensibilité différentielle. — Association de sensations. — Application des données précédentes à l'analyse des actes psychiques.*

DÉFINITION. Nous abordons un domaine où l'erreur anthropomorphique a donné naissance aux explications les plus fantaisistes. On a prêté aux organismes les plus rudimentaires une partie de la mentalité humaine, et interprété leurs mouvements sur cette base. La tendance s'est surtout exercée dans le domaine de l'étude des « mœurs » des Insectes. Il est facile de deviner à quelles interprétations on est arrivé. Cette psychologie littéraire fait progressivement place à la recherche expérimentale du déterminisme des mouvements simples ou compliqués. Les manifestations psychologiques des animaux inférieurs sont considérés comme des séries de mouvements enchaînés qui, tous, sont justiciables d'une explication physico-chimique au même titre que les autres manifestations vitales.

Un mouvement est toujours sous le déterminisme de deux séries de facteurs. Les uns internes, tiennent à la nature et au fonctionnement de l'organisme. Les autres, qui modifient la forme ou le sens du mouvement, sont les

facteurs externes (lumière, etc.), que nous connaissons déjà.

Les premiers sont d'une étude parfois difficile. Les seconds, plus immédiatement justiciables de la méthode expérimentale. Définir la part de ces divers facteurs dans les manifestations motrices, même les plus compliquées (celles qu'on qualifie de psychologiques), telle est le but de la psychologie animale moderne.

DIFFÉRENTES FORMES DE MOUVEMENTS.

Elles dépendent évidemment de la nature de l'organisme. Le plus simple est le mouvement *amiboïde* des Amibes et des globules blancs du sang des Vertébrés et de certains végétaux primitifs. Nous en avons déjà parlé ci-dessus.

L'organisme peut être entièrement recouvert de *cils vibratiles* qui battent d'un mouvement rythmique. C'est le cas des Infusoires ciliés, organismes unicellulaires, des très jeunes têtards de grenouille, de certaines cellules des tissus des Vertébrés, par exemple, des fosses nasales de l'homme. Dans ce dernier cas, la cellule étant fixe, le mouvement ciliaire a pour effet de déplacer les particules en contact avec elle.

Parfois, on n'observe qu'un petit nombre d'organes locomoteurs. On leur donne le nom de *flagella*. Ce cas se rencontre chez les Infusoires flagellés et chez beaucoup de cellules reproductrices des végétaux inférieurs.

Enfin les mouvements d'ensemble du corps ou d'une partie du corps résultent de l'action coordonnée de muscles plus ou moins nombreux et complexes; chez les végétaux ces mouvements d'ensemble, par exemple celui de la tige d'une plante qui se dirige vers la lumière sont corrélatifs de modifications internes encore peu connues.

FACTEURS EXTERNES POUVANT DÉTERMINER OU MODIFIER LES MOUVEMENTS.

Tous les facteurs externes sont dans ce cas, mais leur importance est variable.

La lumière est un des plus essentiels. Elle agit fortement sur beaucoup de végétaux; les tiges éclairées latéralement se courbent lentement dans la région de croissance et *semblent* se diriger vers la lumière; plus rarement, elles se dirigent en sens inverse. Le mouvement peut changer de sens suivant l'intensité de la radiation. Certains animaux coloniaux fixés, les Hydraires, manifestent des mouvements qui, d'après Loeb sont absolument identiques. Un très grand nombre d'animaux simples ou plus élevés en organisation, à l'état d'embryon ou à l'état adulte, sont « phototropiques », c'est-à-dire sont attirés par la lumière ou au contraire repoussés parfois successivement l'un et l'autre. Est-il besoin de rappeler que les Insectes viennent à la lumière ? Tous les collecteurs de Lépidoptères nocturnes connaissent la chasse à la lanterne; et les habitants des pays infestés de moustiques savent qu'il ne faut pas laisser ouverte la nuit la fenêtre d'une chambre éclairée.

La pesanteur détermine le sens dans lequel se développent la racine et la tige des Phanérogames. Inclinons en effet une jeune plante d'un certain angle sur la verticale. Tige et racine se recourbent peu à peu dans la région de croissance et reprennent la direction du fil à plomb.

Chez beaucoup d'animaux, Poissons et Crustacés, dont les yeux sont mobiles, on a constaté que ces organes présentent une disposition fixe par rapport à la pesanteur. Ils se déplacent en effet dans un sens bien défini quand on écarte l'animal de sa position normale.

Les substances chimiques les plus diverses peuvent déterminer ou orienter des mouvements. Les odeurs attirent les Insectes; les anthérozoïdes des Fougères qui se

meuvent par mouvements ciliaires sont entraînés jusqu'à l'élément femelle sous l'influence de la sécrétion d'acide malique émané de cet élément ou du moins des tissus qui l'entourent.

Le contact des corps solides est indispensable pour que les mouvements amiboïdes se manifestent; en suspension dans l'eau, les amibes sont toujours sphériques. Les racines des plantes phanérogames s'appliquent souvent étroitement sur les pierres qui se trouvent dans le sol et suivent tous les accidents de leur surface. Il s'agit encore ici d'un phénomène de contact et le rôle de ce facteur est ici d'autant plus apparent qu'il contrebalance souvent l'influence de la pesanteur.

Nous pourrions citer bien d'autres exemples analogues aux précédents. Retenons simplement qu'il n'est pas de facteur externe qui ne puisse dans certains cas modifier la forme ou la direction d'un mouvement.

TROPISMES ET SENSIBILITÉ DIFFÉRENTIELLE.

On dit qu'il y a *tropisme*, quand, sous l'influence d'un excitant quelconque, l'animal manifeste des mouvements automatiques et tout à fait irrésistibles et que le déplacement est orienté dans le sens des lignes de force de la source d'excitation. Le tropisme est positif quand l'organisme se dirige vers la source, négatif dans le cas contraire. La racine d'une plante sensible à l'action de la pesanteur est géotropique; l'annélide qui se dirige vers la lumière est héliotropique. Dans le cas où l'axe de l'animal en mouvement fait un angle avec la direction de la force, la direction du déplacement se modifie jusqu'à ce qu'elle se confonde avec celle de la force, ou, en termes plus généraux, que cette force agisse *également sur toutes les faces* de l'organisme. Ainsi, une racine

écartée de la position verticale se courbe jusqu'à reprendre la direction du fil à plomb; l'annélide effectuera un mouvement de rotation jusqu'à placer son axe longitudinal exactement dans la direction du rayon lumineux. Si la lumière agissait en deux directions différentes, l'animal se dirigerait suivant la bissectrice, parce que c'est ainsi que ses faces latérales sont également éclairées.

Parfois, l'organisme est sensible à la *variation d'intensité de la force*, surtout quand cette variation est brusque. C'est la sensibilité différentielle bien mise en évidence par Loeb et Bohn. Sensibilité différentielle et tropisme se combinent très fréquemment et le mouvement affecte une allure plus complexe.

Un papillon assez commun dans nos régions, la *Venessa antiopa*, est positivement phototropique, ce qui veut dire qu'il vole toujours face aux rayons du soleil. Une ombre est-elle projetée subitement sur l'animal en plein vol ? Immédiatement, il se retourne et s'enfuit en sens inverse. L'effet n'est pas toujours aussi puissant. Les organismes ne réagissent souvent qu'incomplètement à la sensibilité différentielle. Au moment de la variation d'intensité, il y a simplement une déviation de la trajectoire du mouvement, puis une déviation au sens inverse et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'après quelques oscillations l'animal continue son chemin en ligne droite.

FACTEURS D'ORIGINE INTERNE.

Les facteurs d'origine interne se combinent aux facteurs externes pour modifier le mouvement. C'est ainsi que les chenilles de *Porthesia chrysorrhea* sont positivement héliotropiques quand elles sont à jeûn, négativement, quand elles ont mangé; de petits mollusques du littoral, les Littorines, sont négativement phototropiques quand elles se sont par-

tiellement déshydratées, positivement quand l'eau reparaît, etc...

Deux ordres de facteurs, par conséquent, les uns externes, les autres internes peuvent donc déterminer les mouvements des organismes inférieurs. Comme chacun d'eux peut varier d'intensité, indépendamment des autres, on voit combien les réactions motrices des animaux inférieurs peuvent être variables. Bien souvent on serait tenté d'y voir un effet de psychisme, de volonté, d'intelligence. En fait, une analyse serrée parvient à débrouiller les phénomènes et à en donner une explication purement physico-chimique.

ASSOCIATION DE SENSATIONS.

Chez les animaux inférieurs, les Infusoires, les Echinodermes, les Vers... les choses se réduisent, ou à peu près, à ce que nous venons d'exposer. A partir des Arthropodes, elles se compliquent. Chez ces derniers et chez les animaux supérieurs, le système nerveux est particulièrement bien développé et son intervention se fait sentir. Ce dernier garde trace de certaines sensations, de telle sorte que d'autres sensations suffisent pour déclancher une série de mouvements plus ou moins compliqués. Un exemple fera mieux comprendre. Le *Branchellion* est une sangsue parasite sur la peau des Torpilles, sortes de Raies pourvues d'un appareil électrique, communes sur nos côtes. Quand il est fixé sur le poisson, par sa ventouse postérieure, le ver est peu sensible aux variations de la lumière; quand au contraire il est fixé sur un corps solide, un rocher, il se détend brusquement au passage d'une ombre; il y a association entre la sensation lumineuse et la sensation du contact d'un corps autre que la peau de la Torpille.

L'expérience a montré par ailleurs qu'on peut créer chez des animaux, tels que des Crustacés des associations de sensations nouvelles.

APPLICATION DES DONNÉES PRÉCÉDENTES A L'ANALYSE DES ACTES PSYCHIQUES.

Au moyen des données précédentes on a pu tenter une analyse d'actes plus compliqués, les « instincts » des Insectes. Rien de plus propice à la narration littéraire, à l'anthropomorphisme, que les « mœurs » des Insectes. On leur attribue tous les sentiments humains et on explique tous leurs actes sur cette base. En réalité, ces actes sont justiciables d'une toute autre interprétation.

Beaucoup d'insectes, brusquement saisis, s'immobilisent instantanément, les pattes repliées, rigides. Cet état cataleptique peut durer plus ou moins longtemps. On dit que l'animal « simule la mort ». Cette interprétation anthropomorphique a dû être remplacée à la suite des recherches modernes par la conception d'un phénomène de sensibilité différentielle à divers excitants, le plus souvent à la pression.

Pas d'instinct en apparence plus merveilleux que celui du retour au nid des Insectes, Abeilles, Fourmis, Hyménoptères divers. En les observant habilement, une série d'auteurs ont pu démêler dans ces actes des tropismes, des phénomènes d'association de sensations, ces derniers particulièrement importants.

Nous ne saurions ici exposer avec détails les remarquables résultats obtenus. Qu'il suffise d'avoir fait comprendre comment l'expérience permet de rendre compte des manifestations les plus complexes du psychisme des animaux autrement que par des mots ou des comparaisons injustifiées avec les manifestations intellectuelles de l'homme.

CHAPITRE XIII

LA DÉGÉNÉRESCENCE SÉNILE ET LA MORT

SOMMAIRE. — *La place de la mort dans le cycle vital. — La dégénérescence sénile. — La mort générale. — La mort élémentaire.*

LA PLACE DE LA MORT DANS LE CYCLE VITAL.

Nous avons eu l'occasion de faire remarquer que les phénomènes vitaux semblent se dérouler dans un sens obligatoire. Quelle plus belle illustration de ce principe, au moins en apparence, que la conclusion fatale vers laquelle tendent tous les êtres vivants, la mort?

L'expérience vulgaire nous enseigne que tous les organismes présentent au bout d'une période d'activité plus ou moins longue des symptômes de diminution et d'altération de leurs fonctions les plus essentielles, voire de leurs caractères anatomiques; c'est la décrépitude, la vieillesse ou scientifiquement la *dégénérescence sénile*. Ces symptômes augmentent d'intensité et le terme est cet état où l'organisme, conservant la majeure partie de ses caractères morphologiques ne manifeste plus aucun de ces signes d'activité auxquels nous reconnaissons qu'un être est vivant et qui trahissent tout simplement les échanges matériels et énergétiques qui caractérisent la vie. C'est la *mort*.

Le plus grand nombre des individus disparaît par maladie, traumatisme, bref par mort accidentelle. Mais nous pouvons observer autour de nous assez de cas de mort « physiologique », c'est-à-dire par affaiblissement graduel et progressif, de mort par sénilité, pour que l'idée que la mort est la conclusion inéluctable du fonctionnement vital, le terme vers lequel il tend, semble absolument évidente.

Et cependant, si les êtres vivants sont mortels, la vie est immortelle; d'autre part, dans l'état actuel des choses sur notre globe, la génération spontanée ne semble pas exister; les organismes dérivent les uns des autres : *omne vivum ex ovo*. Quelle place occupe donc la mort dans le cycle vital? La question mérite d'être discutée.

Considérons le plus vulgaire des exemples. La Pomme de terre se propage en pratique uniquement par ses tubercules. L'un d'eux, planté en terre, développe ses bourgeons, des tiges feuillues et d'autres tubercules souterrains; chacun de ces derniers jouit de la même propriété; de telle sorte qu'il existe entre tous les pieds de pomme de terre une véritable continuité de substance, chacun d'eux n'étant en somme qu'une portion séparée d'un autre pied. On pourrait considérer tous les pieds de pomme de terre cultivés en Europe depuis l'introduction de cette plante comme ne formant qu'un seul individu dissocié en une énorme quantité de fragments. Et depuis un siècle et demi que ce phénomène se continue, rien n'a jamais indiqué qu'il pourrait prendre fin. Ici vraiment l'idée de la mort *obligatoire* n'apparaît pas, au contraire. Nous pourrions en dire autant d'ailleurs de toutes les plantes que l'on peut propager indéfiniment par boutures.

Tout différent est le cas des végétaux qu'on multiplie par graine, et en général des organismes où la reproduction sexuelle vient établir des coupures successives dans la continuité des individus.

Deux parties peuvent être alors distinguées dans l'organisme. Le *soma*, c'est-à-dire le corps, destiné comme nous l'enseigne l'expérience journalière à disparaître au bout d'un certain temps d'activité, et le *germen*, ou ensemble des éléments sexuels dont la destinée est particulière.

Les éléments sexuels, œufs et spermatozoïdes, subissent, s'ils restent isolés (Voir ci-dessus fécondation et parthénogénèse.) la loi du soma; ils meurent bien plus rapidement que lui en général. Ici la mort est inéluctable. Qu'ils

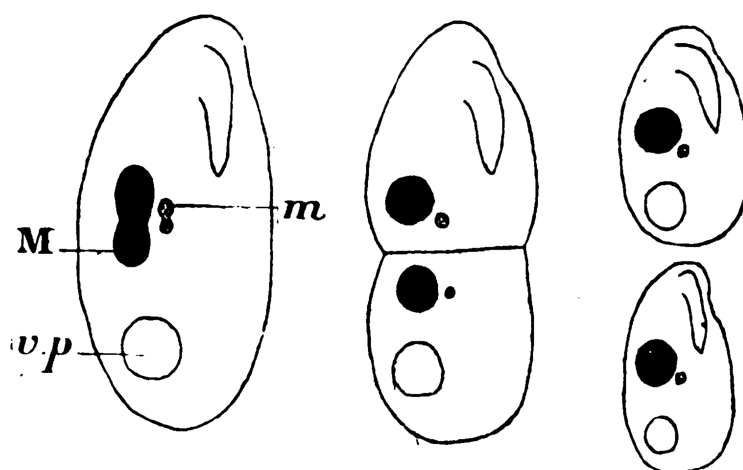


Fig. 14

Reproduction des Infusoires. A gauche : début de la division, les deux noyaux M et m s'étirent; au milieu : l'infusoire s'étrangle; les noyaux sont séparés; à droite : la séparation est complète, chacun des deux individus faibles a complété les organes qui lui manquaient; *v.p.*, vésicule pulsatile.

se rencontrent, se conjuguent, et la scène change totalement. La dégénérescence qui attendait l'œuf vierge et le spermatozoïde isolé, ne se produit pas; au contraire, l'œuf est capable d'une riche évolution puisqu'il reproduira un individu semblable à ceux dont il provient.

Comment donc se comportent au point de vue qui nous occupe les Protozoaires, c'est-à-dire les organismes unicellulaires chez lesquels une seule cellule représente à la fois le soma et le germen ?

Les faits actuellement connus sont encore équivoques. Le cas des Infusoires ciliés est le plus célèbre. Ces animaux unicellulaires microscopiques se reproduisent par scissiparité (fig. 14). Les deux noyaux que contient chacun d'eux s'allongent, se segmentent ; le protoplasma s'étrangle, et finalement, on a deux Infusoires au lieu d'un. Chacun d'eux grandit, se divise à nouveau et ainsi de suite. Il semble clair que les Infusoires peuvent être considérés comme immortels, puisque à aucun moment la vie ne s'arrête et que nous ne voyons jamais de cadadre.

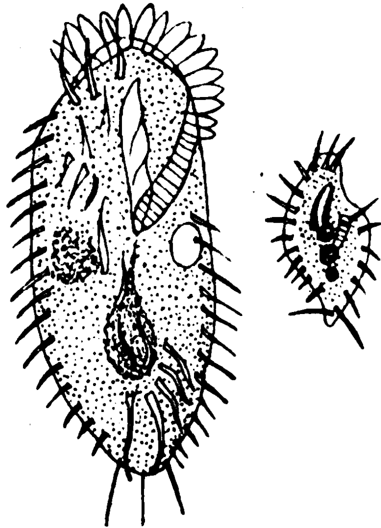


Fig. 15

Stylonichia, infusoire cilié; à gauche : individu normal; à droite, individu très dégénéré; un infusoire arrivé en cet état est incapable de se diviser et ne tarde pas à se dissoudre. (Imité de Maupas.)

Mais les choses ne sont pas aussi simples. Transportons *un* Infusoire dans un milieu où il trouvera une abondante nourriture. Il va se multiplier rapidement et bientôt le milieu contiendra des multitudes d'Infusoires semblables au premier. Or, un zoologiste français, Maupas, a montré que dans ces conditions, les infusoires montrent au bout d'un certain nombre de générations, des signes de dégénérescence sénile manifeste (fig. 15) leur taille diminue; ils se défor-

ment et si l'on continue l'expérience, leur reproduction devient de plus en plus lente, ils disparaissent peu à peu, la culture devient enfin stérile...

A moins qu'un phénomène nouveau n'intervienne, si à la culture en voie de dégénérescence nous ajoutons *une autre* culture de la même espèce d'infusoires. Alors les infusoires s'accouplent deux à deux, des mutations nucléaires assez analogues à celles de la fécondation des Métazoaires se produisent (fig. 16) ; et les infusoires qui ont reconquis une nouvelle vigueur recommencent à se diviser par scissiparité. Et de conclure, avec Maupas, que les Infusoires ne sont pas plus immortels que les Métazoaires et que chez les uns comme chez les autres, la fécondation ou un phénomène analogue est seule capable d'assurer la pérennité de la vie.

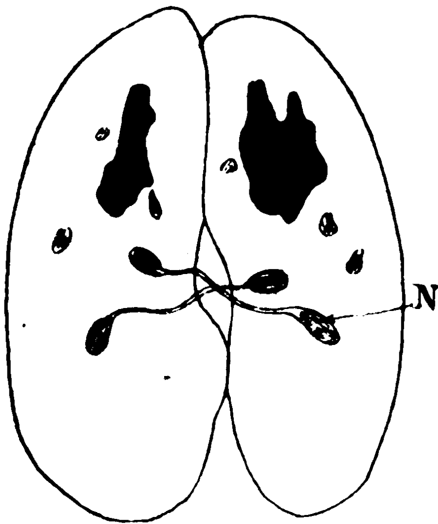


FIG. 16

Conjugaison de deux Infusoires, *Paramecia;* à ce stade les deux infusoires accolés échangent leurs noyaux N.

La question paraît jugée? Nullement, car plus récemment, Calkins, Woodruff et Erdmann ont montré qu'on pouvait empêcher la dégénérescence en modifiant convenablement le milieu de culture et obtenir une reproduction par scissiparité pratiquement indéfinie.

De nouveau, les Infusoires nous semblent être immortels. Dans les cultures de Maupas, il y aurait eu une intoxication progressive : d'où la dégénérescence. Il reste du moins ce fait remarquable : quelle que soit la cause de cette dégénérescence, la conjugaison, c'est-à-dire l'em-

prunt par une cellule de substances appartenant à une autre est capable de l'arrêter, exactement comme la fécondation de l'œuf par le spermatozoïde transforme deux éléments voués l'un et l'autre à une mort rapide en un complexe capable d'une évolution nouvelle.

Que conclure ? Simplement ceci : La mort n'est pas une conséquence *inéluctable* du fonctionnement vital.

Est-elle même une conséquence de ce fonctionnement, là où elle se produit ? Ce n'est pas absolument évident, depuis que J. Loeb a montré à propos des œufs d'oursin que les réactions chimiques qui amènent la dégénérescence et la mort diffèrent par leur coefficient thermique de celles qui prennent place pendant le développement. La mort serait donc amenée par un processus *différent* de ceux qui entretiennent la vie.

Quoi qu'il en soit, la mort se montre partout dans l'organisme. S'il existe des tissus, musculaire, nerveux, etc., qui semblent persister pendant toute la vie de l'individu, il en est beaucoup dont les éléments, après un temps de vie active plus ou moins court, dégénèrent et disparaissent et sont remplacés par d'autres : telles les cellules d'un grand nombre de glandes, de beaucoup d'épithéliums, etc. Il est même curieux de constater que certains tissus ne sont utiles à l'organisme qu'à partir de la dégénérescence totale de leurs éléments. Par exemple, l'épiderme des Mammifères a surtout un rôle protecteur et les cellules qui constituent la couche cornée n'exercent complètement leurs fonctions qu'à partir du moment où elles sont totalement kératinisées, c'est-à-dire complètement mortes. C'est encore le cas du tissu ligneux qui transporte la sève brute depuis l'extrémité des racines jusqu'à la tige feuillée.

En ce qui concerne le soma, la mort physiologique apparaît parfois brusquement sans symptômes précur-

seurs. C'est ce qu'on observe chez beaucoup d'Insectes. Les Ephémères, notamment, s'accouplent, pondent et meurent dans la même journée. On ne saurait dire quelle est la cause qui dérange ainsi brusquement la machine vivante, à moins que ce ne soit justement l'excitation violente corrélative de l'accouplement.

Mais souvent aussi, l'organisme peut vivre pendant un temps prolongé et se reproduire plusieurs fois. Il présente alors plus ou moins rapidement des symptômes de *dégénérescence sénile*, précurseurs de la mort.

DÉGÉNÉRESCENCE SÉNILE.

En dehors de quelques généralités, nous connaissons fort peu de chose sur le processus de la sénilité, qui, d'ailleurs, doit différer suivant les organismes. Nous savons cependant que les tissus nobles, tissu musculaire, par exemple, sont envahis par des éléments du tissu conjonctif. Metchnikoff pense que les leucocytes peuvent détruire certains éléments du tissu nerveux. La névroglie, tissu conjonctif spécial au système nerveux, pourrait également se substituer en partie aux cellules nerveuses. Les glandes génitales s'atrophient, les organes lymphoïdes dégénèrent, et les os s'amincissent et deviennent fragiles.

L'artériosclérose, si fréquente chez les vieillards, pourrait être due aux toxines sécrétées par les légions de bactéries qui habitent le gros intestin. Mais ici, nous côtoyons les causes de mort accidentelle.

Ajoutons enfin que, dans les organismes inférieurs, la sénilité se manifeste uniquement par l'accumulation dans les tissus des produits d'excrétion que l'animal n'a pu éliminer, faute peut-être d'émonctoires assez perfectionnés.

LA MORT GÉNÉRALE. Considérons un Mammifère, un chien à qui on vient de sectionner le bulbe ; il gît sur le sol, inerte, sans mouvements, respiration ni circulation. Nous disons qu'il est mort. Pourtant, il est facile de s'assurer que ses muscles ont conservé toute leur contractilité, ses nerfs leurs pouvoir conducteur : dénudons le sciatique et excitons-le, ne fût-ce que par pincement entre les doigts, la patte correspondante se contracte. Des procédés appropriés permettent de rétablir et d'entretenir assez longtemps les battements du cœur prélevé sur ce cadavre, et complètement isolé de l'organisme auquel il a appartenu. On peut même prélever, comme le biologiste français Carrel l'a fait un des premiers, des fragments de divers tissus et les conserver vivants *in vitro*, dans des conditions appropriées pendant longtemps et voir même leurs éléments se multiplier. C'est qu'en effet le chien est bien mort mais ses muscles, ses nerfs, son cœur, ses tissus en général sont encore parfaitement vivants. Pourtant, nous savons bien que le cadavre est en définitive destiné à subir une désintégration complète ; cela revient à dire, que la mort des tissus suit de plus ou moins loin, mais d'une façon inéluctable, la mort générale de l'individu. Il y a donc, du moins en ce qui concerne les êtres supérieurs, à distinguer la *mort générale* et la mort des tissus ou *mort élémentaire*.

En quoi consiste la mort générale ? L'organisme pluricellulaire est un ensemble très complexe dont toutes les parties sont étroitement solidaires. Chez les Vertébrés notamment, le système nerveux très perfectionné, établit entre tous les organes des corrélations très nombreuses et très strictes. Bref, la vie générale est une synergie ordonnée de vies élémentaires. Que l'une de ces vies élémentaires vienne à être troublée, qu'un organe important « fasse faillite », l'obligatoire harmonie se trouve détruite

et la mort générale s'ensuit. Tel est l'effet du coup de bistouri qui sectionne le bulbe d'un chien; il isole complètement le cœur et les poumons des centres nerveux qui dirigent leur fonctionnement. Mais dans la mort physiologique, la mort de vieillesse, quel est l'organe, quel est le tissu qui fait faillite ? Il semble assez probable que c'est le tissu nerveux, mais en réalité, nous n'en savons rien.

LA MORT ÉLÉMENTAIRE. Elle survient ultérieurement et dérive en somme de la même cause que la mort générale. La coordination nécessaire des diverses parties de l'organisme a disparu, la circulation est arrêtée, la respiration éteinte; les divers tissus ne reçoivent plus d'oxygène, ne peuvent plus évacuer leurs déchets; ils s'asphyxient et s'intoxiquent, et la vie s'éteint chez eux.

Très importante serait la question de savoir quelles modifications subit la substance vivante au moment du passage de l'état de vie à l'état de mort. Nous ignorons à peu près tout de ce processus, sauf sur un point. En étudiant le devenir des œufs d'oursin non fécondés, voués comme on sait à une mort inéluctable, Loeb a constaté que leur structure microscopique s'altère; les œufs se vacuolisent. Mais sans doute cette modification est déjà bien moins la cause de la mort de l'œuf qu'une conséquence d'une altération progressive dans le chimisme de la substance vivante, altération sur laquelle les travaux de Loeb sur la fécondation nous ont apporté quelque lumière. Mais ces détails nous entraîneraient à des développements trop longs.

Les éléments des tissus des Métazoaires pourraient-ils vivre indéfiniment si la mort générale n'intervenait pas ?

Pour certains d'entre eux, ce n'est pas impossible, car on a pu, comme nous le signalons plus haut, « cultiver » des tissus en dehors de l'organisme pendant un temps qui paraît limité seulement par les conditions expérimentales.

Concluons donc : Les processus vitaux ne s'orientent pas *obligatoirement* vers la mort. Celle-ci ne s'est introduite dans le cycle vital qu'à partir des Métazoaires, c'est-à-dire des êtres pluricellulaires, comme une sorte de rançon de leur évolution progressive et de leur perfectionnement.

QUATRIÈME PARTIE

L'ÉVOLUTION

CHAPITRE XIV

CRÉATIONNISME OU TRANSFORMISME

Ce titre seul est une déclaration de principe. Il y a deux manières en effet d'envisager la raison d'être de l'état actuel des êtres vivants. On peut supposer que les espèces animales et végétales ont été créées *telles* que nous les connaissons aujourd'hui. Elles se perpétuent par la génération sans rien perdre de leurs caractères, sans acquérir de particularités nouvelles. Sans doute, il n'y a pas dans la nature deux individus parfaitement identiques, mais les petites différences qui distinguent les individus d'une même espèce oscillent autour d'une forme idéale moyenne, sans jamais dépasser un certain degré. Bref, les espèces sont fixes, ou tout au plus capables d'une *variabilité limitée*, et elles ont été créées telles que nous les connaissons.

C'est l'hypothèse *créationniste* qui admet à la fois la *fixité* et *l'indépendance* de toutes les espèces d'êtres

vivants. C'est celle de Linné et de Cuvier. « Nous comptons aujourd'hui, disait Linné, autant d'espèces qu'il en est sorti des mains du Créateur ».

Inversement, nous pouvons supposer que les espèces actuelles dérivent d'autres espèces par suite de variations analogues à celles que nous avons étudiées dans un chapitre précédent. Ces dernières dériveraient d'espèces plus anciennes, et ainsi de suite jusqu'à l'origine de la vie sur le globe. C'est l'hypothèse *transformiste*, celle de Buffon, dans une certaine mesure, de Geoffroy-Saint-Hilaire et surtout de Lamarck et de Darwin, celle enfin de la presque totalité des naturalistes contemporains. Elle suppose donc que l'état actuel du monde vivant est le résultat d'une très longue *évolution* qui se continue du reste aujourd'hui. La longue durée des processus qu'elle suppose, comparée à celle de la vie humaine, nous empêche seule d'en avoir la notion vulgaire.

L'observation montre du reste que la composition du monde vivant a largement varié au cours des âges disparus. La faune qui vivait dans des océans aujourd'hui asséchés et dont nous retrouvons les restes au sein des sédiments déposés dans ces mers est d'autant plus dissemblables de la faune actuelle qu'on considère une période plus reculée de l'histoire de la terre. Innombrables sont les organismes qui ont définitivement disparu et que nous ne connaîtrons jamais qu'à l'état fossile. Il est donc évident que le monde vivant a subi dans le cours des âges bien des transformations. Comment les expliquer ? Nous avons le choix : créations successives ou transformisme, c'est-à-dire évolution continue.

Sur quelles raisons asseoir notre choix ?

Au fond, notre tournure d'esprit, nos idées philosophiques plus ou moins conscientes nous engagent seules à adopter l'une de ces hypothèses plutôt que l'autre. Il est

à remarquer, cependant que, comme l'hypothèse vitaliste dont elle n'est au fond qu'un prolongement, l'hypothèse créationniste est profondément stérilisante. Si, dès le principe, nous admettons que l'existence des espèces tant actuelles qu'éteintes avec tous leurs caractères n'ont d'autre raison d'être que la fantaisie de l'Etre tout puissant, notre rôle scientifique sera terminé, dès que nous aurons décrit et dénommé toutes ces espèces et fait l'inventaire de leurs fonctions. La Biologie se réduit à la confection d'un catalogue.

Au contraire, l'hypothèse transformiste suppose que les êtres vivants ont une histoire, que leurs caractères ont apparu à une certaine époque, qu'ils se sont modifiés dans le cours des âges, qu'ils se modifient même encore. Et ainsi s'ouvre devant nous un champ de recherches illimité : reconstituer tout d'abord l'*enchaînement des organismes* ou *phylogenèse*, depuis la première apparition de la vie sur le globe, jusqu'à l'époque actuelle. Ce sera en quelque manière constituer une nouvelle classification comprenant tous les êtres vivants actuels et disparus, mais bien différente de la systématique pure en ce sens que chaque groupe sera supposé dériver d'un autre par *apparition* non pas idéale, mais *réelle* d'un ou plusieurs caractères nouveaux. Enfin, et c'est là l'essentiel, nous devrons alors définir les facteurs qui ont pu déterminer dans le temps ces modifications successives et énoncer les lois qui ont présidé à ces phénomènes, qui les dirigent encore, en un mot, nous serons amenés à examiner la question de la formation des espèces.

CHAPITRE XV

LA PHYLOGÉNÈSE

SOMMAIRE. — *Les bases philosophiques de la phylogénèse; la vraisemblance. — La loi de la récapitulation. — Les résultats acquis; quelques séries phylogéniques.*

Après l'apparition, vers le milieu du XIX[e] siècle, du livre de Darwin sur l'*Origine des espèces*, de nombreux naturalistes songèrent à installer la théorie transformiste sur des bases objectives en reconstituant les enchaînements des organismes. Le célèbre auteur anglais, après avoir remis au jour la théorie transformiste oubliée depuis Lamarck, condamnée même à la suite de l'intolérante attitude de Cuvier, n'avait pas tenté d'essai phylogénique.

LES BASES PHILOSOPHIQUES DE LA PHYLOGÉNÈSE; LA VRAISEMBLANCE.

Le procédé le plus simple consiste à faire appel à la *vraisemblance*. Rassemblons un grand nombre de spécimens d'une catégorie d'objets déterminés; il sera toujours possible de les classer en une série linéaire telle que chaque terme diffère moins de celui qui le précède et de celui qui le suit que de tout autre. Les différences seront d'autant plus faibles que le nombre des termes sera plus grand. Ainsi fut-il fait pour les animaux.

Mais une même série peut être prise dans deux sens différents. On ajouta ce critérium non moins subjectif que le précédent, la complexité et la spécialisation, l'une et l'autre déjà utilisées en systématique pure. (Voir p. 45.) Le complexe et le spécialisé sont considérés comme plus évolués que le simple et le généralisé. Ce qui nous permet dans les cas douteux de définir le début et la fin des séries phylogéniques.

Malheureusement, le vraisemblable n'est pas obligatoirement le vrai; aussi n'est-il pas étonnant que cette méthode un peu primitive ait amené pas mal d'échecs, certains particulièrement retentissants. Nous voulons dire que certains enchaînements d'abord considérés comme établis ont dû par la suite être reconnus comme absolument inexacts.

LA LOI DE LA RÉCAPITULATION.

Il y a heureusement quelque chose de plus qui peut, dans une certaine mesure, servir de guide. C'est la récapitulation de l'ontogénie par la phylogénie ou loi de Serres, de Fritz Müller, du nom des auteurs qui l'ont mise en évidence.

A la vérité, cette « loi » n'est guère que la généralisation d'un certain nombre d'observations analogues, par exemple, à la suivante. Les embryons des Mammifères possèdent à une certaine période de leur développement des vaisseaux appelés *arcs aortiques* et des ébauches de fentes branchiales faisant communiquer le pharynx avec le milieu extérieur. Or, ces organes qui disparaissent dans la suite du développement chez les Mammifères persistent à l'état adulte chez les Poissons. On considère d'autre part comme vraisemblable que les Vertébrés aériens sont plus évolués que les Vertébrés aquatiques. Les premiers descendraient donc des seconds.

La loi est mieux assise sur la Paléontologie. L'étude des Ammonites, par exemple, montre que les stades jeunes de certains de ces Céphalopodes fossiles reproduisent des dispositions réalisées à l'état adulte chez d'autres Ammonoïdés ayant vécu à une époque plus ancienne. Ici, la série des couches fossilifères nous impose d'*évidence* le sens de la série évolutive. Le rapprochement des stades du développement avec la série phylogénique donne décidément corps à la loi du parallélisme.

Il y a donc là un guide précieux; chaque fois que nous trouverons dans l'embryon d'un organisme une disposition réalisée chez l'adulte d'un autre organisme du même groupe, nous pourrons considérer le second comme moins évolué que le premier ou celui-ci dérivant plus ou moins directement de celui-là. On conçoit combien cette loi, ou plutôt cette remarque, car ce n'est guère plus, est utile pour l'établissement des séries phylogéniques.

Mais il ne faut pas en exagérer la signification, ni surtout l'appliquer systématiquement sans critique. Cette loi n'est qu'assez grossièrement approchée. D'une part, un adulte ne reproduit *jamais exactement* la structure d'un embryon; ce qu'on observe en général, c'est une certaine conformité de dispositions entre un embryon et un adulte. D'autre part, beaucoup de causes ont pu et ont effectivement modifié la série des stades du développement de certains organismes de telle sorte que ces derniers ne reproduisent à aucun moment la structure de leurs ancêtres. La loi est alors d'un recours tout à fait nul.

Parfois encore, les formes jeunes d'animaux très différents, ont pris par adaptation à un milieu déterminé une même apparence, bien que les organismes en question ne soient, de toute évidence, nullement parents. En fait,

dans l'utilisation de la loi du parallélisme, chaque cas est à étudier et à soumettre à un examen critique approfondi. Il n'est donc pas étonnant que les premiers zoologistes qui ont tenté de reconstituer l'histoire du règne animal, et il faut citer notamment E. Haeckel, soient arrivés en utilisant sans critique la loi du parallélisme à des résultats qu'on a pu qualifier parfois de fantaisistes.

LES RÉSULTATS : QUELQUES SÉRIES PHYLOGÉNIQUES.

On n'est pas arrivé à reconstituer, même en gros, l'histoire d'ensemble du règne vivant; et dans l'état actuel de la science, il semble peu probable qu'on y arrive jamais. Du moins, a-t-on pu reconstituer avec quelque probabilité, un certain nombre de séries phylogéniques restreintes. La paléontologie qui peut, grâce à la série des sédiments superposés préciser l'âge *relatif* des organismes fossiles, offre à cet égard des facilités particulières.

Même en dehors de la Paléontologie, on a pu rétablir quelques courtes séries. La Fissurelle est un Mollusque de nos côtes, protégé par une coquille en forme de cône surbaissé percé d'un trou en son sommet. En étudiant le développement, on constate que la coquille de la très jeune Fissurelle présente tout d'abord une *échancrure;* plus tard, cette échancrure se transforme en un trou placé à quelque distance du bord, qui peu à peu se déplace jusqu'au sommet du cône quand l'animal devient adulte. Or, ces deux dernières dispositions sont représentées par deux autres Mollusques encore vivants dans la nature actuelle, les genres *Emarginula* et *Rimula*. Emarginula, Rimula, Fissurella constituent une série phylogénique (fig. 17).

Les Ammonites sont des Céphalopodes aujourd'hui

entièrement éteints, dont la coquille était formée par un cône enroulé en spirale et dont la cavité est divisée en loges par des cloisons transversales. Ces cloisons s'insèrent sur la paroi de la coquille, suivant une ligne de suture très compliquée. Or, en examinant les lignes de suture formées dans la première jeunesse de l'Ammonite,

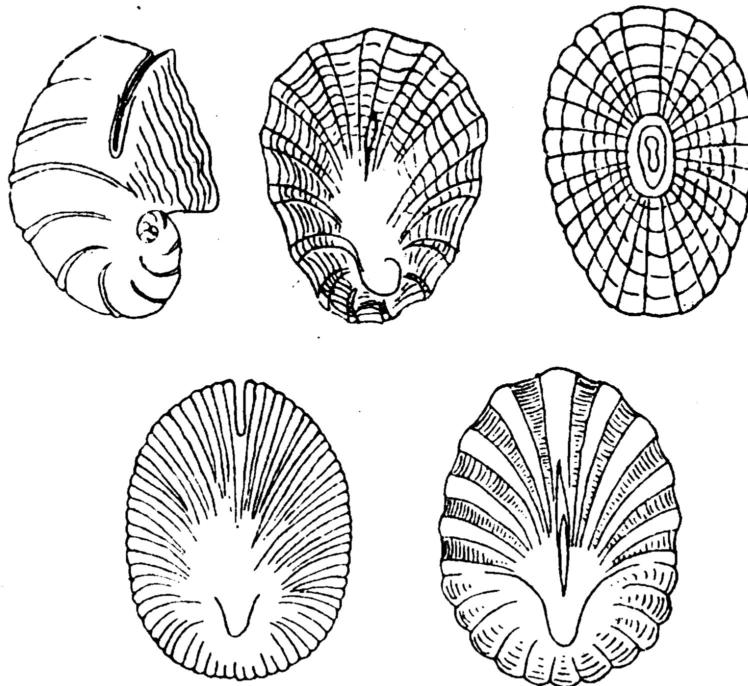


Fig. 17

Parallélisme de l'ontogénie et de la phylogénie. En haut, deux stades du développement de la coquille de *Fissurella;* à droite : coquille de Fissurella adulte (imité de Boutan); en bas : à gauche, *Emarginula;* à droite, *Rimula* Mollusques vivants réalisant à l'état adulte des dispositions transitoires chez Fissurella.

on constate qu'elle se simplifie beaucoup. Elle reproduit alors la forme adulte de la ligne de suture d'ammonoïdés plus anciennes que les vraies Ammonites et qui appartiennent au groupe des « Goniatites ».

Parmi les Mammifères fossiles, on a pu reconstituer l'évolution des *Mastodontes*, animaux voisins des Eléphants actuels. Le plus ancien, le *M. augustidens* est un animal assez petit, pourvu de quatre défenses, deux à la mâchoire supérieure et deux à l'inférieure. Chez le *M. longirostris*, la taille s'élève, les défenses inférieures diminuent; elles disparaissent enfin entièrement chez le *M. arvernensis*, encore plus récent que le précédent, mais d'ailleurs également éteint à l'époque actuelle.

Enfin, l'exemple le plus classique est celui de la série du cheval. On sait que ce Mammifère ne possède à chaque membre qu'un seul doigt garni d'un fort sabot. Or, il dérive d'animaux comme l'*Hyracotherium*, possédant cinq doigts à chaque membre. Dans les types plus récents, *Epihippus*, *Mesohippus*, *Hippidion*, nous assistons à la réduction graduelle du nombre des doigts. Finalement, nous arrivons au cheval actuel qui n'a plus qu'un doigt, le troisième, le doigt médian. Remarquons, en passant, que dans le cas précédent, la loi du parallélisme ne joue aucun rôle. Jamais, en effet, le cheval actuel ne présente cinq doigts au cours de son développement. Les stades primitifs sont définitivement perdus dans l'évolution individuelle de cet animal. Par contre, il possède de chaque côté de son unique métacarpien un stylet qui représente le vestige des deux doigts latéraux disparus. Ce sont là des « organes rudimentaires » qui attestent dans l'organisation de l'animal actuel comme un « souvenir » de la structure des ancêtres dont ils descend.

A côté de cette phylogénie en quelque sorte systématique dont nous venons de citer des exemples, il en existe une autre qui s'efforce non plus de reconstituer d'une façon précise l'enchaînement des genres et des familles mais plutôt l'enchaînement des formes et des phénomènes. On peut se proposer, par exemple, d'exposer com-

ment la fécondation sexuelle, phénomène si compliqué qu'il ne peut évidemment être considéré comme primitif, s'est introduite dans le cours de l'évolution; par suite de quels phénomènes la mort est venue à une certaine époque s'introduire dans le cycle vital; comment s'est fait le passage de la vie aquatique à la vie aérienne, etc. Cette phylogénie est à la fois plus simple et plus difficile que la précédente. Elle ne demande pas de documents aussi précis. Peu nous importe que les organismes que nous mettons en série descendent réellement les uns des autres si, dans son ensemble, la série représente bien l'*allure* générale des phénomènes. Mais par ailleurs, il n'y a aucune aide, sauf exception rare, à attendre des formes fossiles, et d'autre part, les documents que la nature actuelle nous offre ne sont pas toujours assez complets pour que la solution soit possible. Aussi, dans la plupart des cas, est-on encore réduit à l'hypothèse.

Nous ne prendrons qu'un exemple: le passage de la vie aquatique à la vie aérienne chez les Vertébrés. Les Vertébrés aériens étant d'organisation plus complexe, plus différenciée que les Poissons, Vertébrés aquatiques, on admet donc que les premiers descendent des seconds, ce qui est confirmé par la paléontologie. Batraciens, Reptiles, Oiseaux et Mammifères ont apparu postérieurement aux Poissons.

Les Poissons respirent par des branchies annexées à des fentes qui font communiquer le pharynx avec l'extérieur. L'eau entre par la bouche et ressort par les fentes branchiales après avoir baigné les lamelles branchiales où se fait l'hématose. Chaque série de branchies est desservie par un vaisseau ou arc aortique qui provient lui-même d'un tronc partant directement du cœur. Ce dernier, enfin, ne comprend que deux cavités, une oreillette qui reçoit le sang de tout le corps et un ventricule qui le

refoule dans les arcs aortiques. Le cœur ne contient donc que du sang veineux.

Certains Poissons, les Dipneustes, qui vivent dans des marais se desséchant à certaines époques de l'année, respirent en temps ordinaire par des branchies. En saison sèche, ils s'enfoncent dans la vase, ne laissent passer que l'extrémité de leur museau par où ils aspirent l'air en nature. Cet air est introduit dans un « poumon », diverticule de la région antérieure du tube digestif. Cet organe reçoit un vaisseau qui provient presque directement du cœur et qui lui amène par conséquent du sang veineux. A travers la paroi de l'organe se fait l'hématose.

Sans entrer dans des détails qui ne pourraient trouver place ici, ni discuter l'assimilation douteuse du poumon des Dipneustes à celui des Vertébrés aériens, retenons seulement le processus général par lequel semble s'être fait le pasage de la vie aquatique à la vie aérienne : Un diverticule du tube digestif desservi par un vaisseau qui provient presque directement du cœur, se transforme en poumon, c'est-à-dire en organe d'hématose.

Ici, la loi du parallélisme trouve son application, à la condition de ne pas vouloir trop entrer dans le détail. Chez tous les Vertébrés aériens en effet, les poumons dérivent dans le développement ontogénique d'un diverticule de la partie antérieure du tube digestif. Enfin et surtout, tous possèdent, au début de leur développement, sinon des branchies, tout au moins des fentes branchiales qui disparaissent rapidement. Le parallélisme est particulièrement accentué chez les Batraciens. La grenouille par exemple sort de l'œuf à l'état de têtard, petit organisme aquatique, pourvu de fentes branchiales et respirant comme un poisson. C'est plus tard que les poumons se développent complètement, que les branchies disparaissent, que les fentes branchiales se ferment et que la grenouille sort de l'eau pour mener une vie aérienne.

CHAPITRE XVI

GENÈSE DES ESPÈCES ET DES ADAPTATIONS

I. — Les faits.

SOMMAIRE. — *Comment se pose la question. — L'origine et la transmission héréditaire des caractères nouveaux. — Hérédité des caractères acquis sous l'influence du milieu. — Hérédité des effets de l'usage et de la désuétude. — Mutations. — Lois de l'hérédité.*

COMMENT SE POSE LA QUESTION.

C'est presque un lieu commun de dire que les espèces dérivent les unes des autres. Mais qu'entend-on exactement par là? La question mérite d'être analysée de près et nous allons voir que dans cette formule on enferme plusieurs choses bien différentes.

Nous avons donné plus haut (voir p. 16) une définition de l'espèce en biologie. C'est le plus réduit des groupes auquel les systématiciens jugent utile de donner un nom particulier. Les individus tous différents, puisqu'il n'y a pas deux individus identiques dans la nature, qui constituent cette espèce possèdent un ensemble de caractères communs. Telle est l'espèce des biologistes classificateurs qui ne s'inquiètent pas de la dérivation possible des espèces les unes des autres.

Mais, dès que nous faisons intervenir la notion de

descendance, nous introduisons par cela même une donnée nouvelle qui doit entrer dans la définition de l'espèce des transformistes. Seront définis comme formant une espèce tous les individus possédant un ensemble de caractères communs qu'ils transmettent à leurs *descendants*. Réciproquement, seuls devront entrer dans la définition d'une espèce les caractères qui pourront se transmettre sans altération qualitative ou quantitative dans la série des générations. L'espèce ainsi définie est-elle identique à celle des systématiciens? Souvent sans doute, certainement pas toujours. Il est clair qu'une classification basée sur ces derniers principes serait bien supérieure, parce que objective, à la classification vulgaire; mais il est non moins évident que son établissement demanderait un travail d'exécution impossible.

La question de la dérivation des espèces par descendance se pose donc comme suit : il existe dans la nature des groupements d'individus définis par un ensemble de caractères qui se transmettent intégralement d'une génération à l'autre; dans quelles conditions et sous quelles influences peut-on voir un ou plusieurs individus composant cette espèce acquérir de *nouveaux* caractères *transmissibles* par *hérédité* à leur descendance? Et d'abord le fait s'observe-t-il dans la nature actuelle? Sans aucun doute. On désigne précisément sous le nom de *mutation* l'apparition dans les élevages d'individus présentant une particularité nouvelle qu'ils transmettent à leurs descendants.

Ainsi à diverses reprises a-t-on vu apparaître parmi les bœufs argentins des individus camards au crâne fortement prognathe; cette particularité est héréditaire. De même, le serin jaune est une mutation apparue vers le début du XVIIIe siècle dans les élevages de serins verts naturels importés des Canaries.

La descendance des espèces étant supposée admise, une autre question se présente. L'expérience montre que les variations sont parfois adaptatives (voir p. 103), mais que plus souvent encore elles ne le sont pas. Tout au plus sont-elles indifférentes. Or, les organismes sont tous plus ou moins bien adaptés à leurs conditions habituelles d'existence et quelques-uns le sont très étroitement. Il y a donc nécesairement dans la suite de l'évolution un triage des variations adaptatives et de celles qui ne le sont pas ou au moins de celles qui sont nuisibles. Une théorie de la formation des espèces doit donc également être une théorie de l'adaptation.

Deux ordres de faits sont à considérer : 1° Comment apparaissent dans la vie d'une espèce les caractères nouveaux? 2° Dans quelle mesure ces caractères nouveaux sont-ils transmissibles d'une génération à l'autre? C'est ce que nous allons examiner dans le paragraphe suivant.

L'ORIGINE ET LA TRANSMISSION HÉRÉDITAIRE DES CARACTÈRES NOUVEAUX.

Dans un chapitre précédent, nous avons examiné l'influence morphogène du milieu agissant sur les individus en voie de développement. Les caractères ainsi formés sont parfois très importants. Ils ont cependant cette particularité générale de consister souvent en une variation en plus ou en moins d'un caractère déjà existant.

D'autre part, on voit parfois apparaître dans une lignée des individus possédant un caractère nouveau ne provenant pas, du moins en *apparence*, de l'action du milieu, et ne venant pas non plus par transmission héréditaire des progéniteurs. Ce sont les *mutations*.

Autant de types de caractères, autant de mode de formation possible des espèces, à la condition que ces

caractères puissent se transmettre par hérédité d'une génération à l'autre. Sont-ils héréditaires? Voilà la question à résoudre.

HÉRÉDITÉ DES CARACTÈRES ACQUIS SOUS L'INFLUENCE DU MILIEU.

Nous connaissons l'origine de ces caractères; voyons ce qui concerne leur hérédité.

Les *traumatismes* ne sont pas héréditaires. Aucun doute sur ce point; on coupe la queue et les oreilles de certains chiens sans que ces organes aient jamais disparu.

Les médecins citent beaucoup d'exemples d'*hérédité pathologique*. Au point de vue de la biologie, il n'y a rien de sûr à retenir des faits accumulés dans ce domaine. Sans doute, les descendants de tuberculeux, d'arthritiques sont souvent atteints des mêmes tares que leurs parents. Mais d'une part, il faudrait éliminer les maladies microbiennes ou suspectes de l'être. La transmission d'un microbe n'est pas l'hérédité au sens où nous l'entendons. Parmi les maladies non microbiennes, l'hérédité en ligne féminine est bien plus fréquente qu'en ligne masculine, et il s'agit sans doute dans ce cas d'une imprégnation du fœtus par les substances maternelles transsudées à travers le placenta.

Ce n'est pas encore là de l'hérédité véritable. L'histoire des cobayes épileptiques de Brown-Séquard est là pour nous montrer qu'en cas d'hérédité pathologique il faut être plus que prudent avant de conclure.

Avec les modifications produites directement sous l'action du milieu la question devient accessible à l'expérience précise. Le plus souvent il n'y a pas transmission d'une génération à l'autre. Mais on connaît cependant quelques cas positifs.

Cunningham a expérimenté sur des poissons plats (sole, plie). Ces animaux sont symétriques dans leur jeune âge et semblablement pigmentés des deux côtés. Plus tard, ils se laissent tomber sur l'un des côtés qui perd son pigment. En disposant de jeunes plies dans un aquarium éclairé par dessous on constate que, malgré la lumière, le pigment disparaît. Cette disparition est un caractère évidemment acquis. Or il est devenu héréditaire puisqu'il se produit *malgré* l'éclairement; on sait que la lumière favorise la formation des pigments. Et en effet, la face décolorée ne tarde pas à se pigmenter de nouveau.

Pictet, en nourrissant des chenilles avec des végétaux qu'elles ne mangent pas habituellement, a déterminé une modification de l'adulte. Cette modification s'est transmise aux générations suivantes malgré le retour aux conditions normales d'alimentation.

Le cas des pêchers de Bordage est devenu classique. On sait que, dans nos régions, la plupart des arbres perdent leurs feuilles à l'automne. Au contraire, dans les contrées où les saisons n'alternent pas sensiblement, la végétation est à peu près continue. Bordage a observé à la Réunion des pêchers, arbres à feuilles caduques importés d'Europe. Progressivement, les feuilles sont restées de plus en plus longtemps fixées sur l'arbre, jusqu'au moment où une nouvelle feuillaison commença, alors que la précédente n'était pas encore tombée. Le pêcher à feuilles caduques s'était transformé en arbre à feuilles persistantes.

Mais voici le point essentiel : des graines de ces pêchers à feuilles persistantes furent semées dans des régions à saisons tranchées et donnèrent des arbres à feuillage sinon absolument persistant, du moins subpersistant. Le caractère acquis sous l'influence du milieu était donc devenu héréditaire.

HÉRÉDITÉ DES EFFETS DE L'USAGE ET DE LA DÉSUÉTUDE.

L'observation montre qu'un organe qui travaille fréquemment et beaucoup se développe; et inversement que la désuétude tend à déterminer l'atrophie. Les muscles augmentent de volume par l'exercice; après néphrectomie unilatérale, le rein unique qui doit éliminer une quantité double de substances d'excrétion s'hypertrophie, etc. Ces effets sont-ils héréditaires? Dans l'explication de la formation des espèces et l'acquisition des adaptations, Lamarck fait grand usage des facteurs de ce genre. La question est donc d'importance.

Il est fâcheux que l'expérience soit ici sinon impossible, du moins très difficile et très longue. Dans beaucoup de cas d'ailleurs ces effets sont nettement non-héréditaires. A chaque génération nous devons apprendre à parler, à écrire... et il n'est même pas prouvé que nos enfants apprennent plus rapidement que ceux d'autrefois.

Spencer, le célèbre philosophe anglais, constatant que les facultés musicales sont plus développées chez les peuples civilisés que chez les sauvages, voit ici une preuve de l'hérédité des effets de l'usage, mais cet exemple demeuré célèbre prête trop à discussion pour qu'on puisse y voir une preuve démonstrative.

Cattaneo raporte que des chameaux sauvages sont dépourvus de callosités aux genoux; or ces callosités sont héréditaires chez les chameaux domestiques. Elles auraient été acquises par l'habitude que ces animaux ont prise de s'agenouiller lorsqu'on les charge.

En fait nous ne savons pas si les effets de l'usage et de la désuétude sont réellement héréditaires.

Il semble bien, en résumé, qu'on soit parvenu à mettre en évidence quelques cas d'hérédité de caractères acquis sous l'influence directe du milieu. Cependant il faut

s'étonner qu'il y ait tant d'exemplès contraires et que les cas positifs soient si rares. Si on admet avec beaucoup d'auteurs que l'hérédité des modifications acquises est une nécessité logique, il faut reconnaître que nous ne savons pas bien dans quelles conditions elle peut se faire.

MUTATION. Toute autre est l'histoire des mutations. Ici, *par définition*, nous avons affaire à une modification héréditaire. Mais une autre question, et d'importance, se pose.

Quelle est la cause des mutations? Selon les théories des particules représentatives (voir p. 30) les mutations sont dues à un simple remaniement des caractères apportés par le spermatozoïde et par l'ovule au moment de la fécondation. Il ne s'agirait pas de caractères nouveaux, mais de recombinaisons variées des caractères anciens. Il est possible qu'il en soit quelquefois ainsi et nous examinerons la question plus loin. Ce qui est certain par ailleurs, c'est que certaines mutations apparaissent sous l'influence du milieu.

En traumatisant des tiges de maïs, Blaringhem a réussi à provoquer des mutations diverses dans l'appareil sexuel, c'est-à-dire des modifications héréditaires par définition. On sait aussi que les descendants d'individus intoxiqués par l'alcool ou par les toxines syphilitiques sont fréquemment atteints de dystrophies, bec de lièvre, doigts supplémentaires ou avortés, et que ces particularités sont souvent héréditaires. Voici enfin une très ancienne expérience. Paul Bert a élevé de petits Crustacés, des Daphnies dans de l'eau progressivement salée. Ces animaux vécurent assez péniblement et finirent par mourir; mais, ils avaient pondu et, de leurs œufs, sortit une génération de Daphnies parfaitement acclimatées à l'eau salée.

Quant au rôle précis du milieu dans la production des mutations les auteurs, pour la plupart, n'y veulent voir qu'une vague influence générale d'un facteur externe, qui *mettrait les éléments* reproducteurs en *état de mutation*. Cette manière d'exposer les choses n'est qu'un biais adroit pour nier l'hérédité des caractères acquis sous l'influence du milieu.

LOIS DE L'HÉRÉDITÉ.

Il nous reste enfin à examiner la loi de transmissibilité héréditaire des caractères. Si nous croisons un mâle et une femelle présentant un caractère différent, par exemple une souris grise et une blanche, il y a *théoriquement* deux modes de transmission possible. Ou bien les petits seront gris *clair*, par fusion des deux caractères opposés, ou bien ils y aura des petits gris et d'autres blancs. En fait, dans le cas de la souris, c'est la seconde alternative qui est réalisée.

Cette forme d'hérédité a été mise en évidence par G. Mendel en 1866 puis redécouverte plus récemment par de Vries et par Correns. Une foule d'auteurs ont étendu les premiers résultats. Voici exposée un peu schématiquement en quoi consiste la « règle de Mendel ».

Croisons une souris grise et une souris blanche. Les petits seront à la première génération tous *gris*. Chacun d'eux possède cependant en *puissance* le caractère blanc comme la suite le montrera; seulement ce caractère blanc ne s'exprime pas; on dit qu'il est *dominé* par le caractère gris. Croisons maintenant ces petits entre eux; on obtient alors des descendants, les uns gris, les autres blancs, et environ trois fois plus de gris que de blancs. Les caractères gris et blanc sont *disjoints*. Ces faits s'interprètent aisément. Chaque progéniteur de seconde génération apporte avec lui la tendance à déterminer *soit*

le caractère gris, *soit* le caractère blanc. Il y aura donc parmi les petits et suivant le *hasard* de la combinaison des tendances, soit des *gris-gris*, soit des *blancs-gris*, soit des *gris-blancs*, soit des *blancs-blancs*. Or le gris domine le blanc. On aura donc approximativement trois gris pour un blanc. Cette règle s'applique non seulement au cas simple de deux caractères que nous avons supposé ci-dessus, mais à des cas plus compliqués où plusieurs caractères sont en jeu.

Mais la règle est-elle générale? Les mendélistes le prétendent. Aussi ont-ils dû torturer certains faits pour les mettre en accord avec la théorie.

C'est qu'en effet, il existe des exemples de simple *fusion* des caractères sans disjonction ultérieure. Le cas des métis humains est bien caractéristique. Si on croise un homme blanc et une femme noire on obtient un mulâtre; il n'y a donc pas dominance d'un caractère. Le mulâtre croisé avec un blanc donne un individu de couleur plus claire ou quarteron, et ainsi de suite. Les mendélistes ont essayé malgré tout de faire rentrer ce cas dans la règle générale, mais ils ont dû solliciter les faits d'une façon par trop excessive pour qu'on puisse se déclarer convaincu. Dans un livre récent, Blaringhem cite divers autres cas de fusion des caractères des parents chez les descendants, ce qu'il appelle l'hérédité mixte, notamment parmi les Ægylops, les Benoites, et d'après ses recherches personnelles chez les Cobayes. Chez ces derniers, l'hérédité des caractères mélangés se maintient à travers les générations successives.

Enfin, sous le nom d'hérédité en mosaïque on désigne une *juxtaposition* des caractères parentaux. Des cas assez fréquents en ont été signalés dans les plantes cultivées et même chez l'homme. L'exemple des « nègres pies » est bien connu. Ce sont des métis de blanc et de négresse qui,

au lieu de présenter une teinte mulâtre uniforme, ont le tégument marbré de taches noires et blanches.

Tels sont les faits. Il nous reste à voir comment on les a utilisés pour construire des théories rendant compte de la formation des espèces et de l'adaptation.

CHAPITRE XVII

GENÈSE DES ESPÈCES ET DES ADAPTATIONS

II. — Les théories.

SOMMAIRE. — *Darwin; la lutte pour la vie et la sélection. — L'influence du milieu d'après Darwin. — Néodarwiniens. — Difficultés de la théorie sélectionniste. — Essais d'adaptation des théories sélectionnistes. — Lamarck et l'influence du milieu. — Conclusions.*

DARWIN. LA LUTTE POUR LA VIE ET LA SÉLECTION.

Le grand naturaliste anglais Darwin eut la bonne fortune de faire dans sa jeunesse un très long voyage d'exploration sur le vaisseau le *Beagle*. Il revint convaincu par ses observations que les espèces animales et végétales ne constituent pas des entités fixes, distinctes et indépendantes, mais se relient souvent par de nombreux intermédiaires et descendent les unes des autres.

Ce ne fut que vingt années après son retour qu'il livra à la publicité l'exposé de sa théorie dans un livre fondamental l'*Origine des espèces*, complété plus tard par deux ouvrages presque aussi célèbres, *La variation des animaux et des plantes* et *L'origine de l'Homme et la sélection sexuelle*.

Darwin était de nationalité anglaise. Ses compatriotes furent de tout temps des éleveurs remarquables et d'une grande habileté dans l'art de perfectionner les va-

riétés intéressantes d'animaux ou de plantes domestiques. Le procédé employé est toujours le même. Il consiste à choisir les individus présentant la particularité intéressante, à les livrer à la reproduction à l'exclusion de leurs congénères; à isoler dans leur descendance les individus possédant la variation cherchée au plus haut degré, et ainsi de suite, de génération en génération. En un mot, on opère par *sélection.* On obtient ainsi à partir d'une espèce donnée des variétés que les naturalistes classeraient dans des espèces distinctes s'ils ne connaissaient leur histoire. De là sans doute, l'idée qu'une *sélection naturelle* due à des causes purement physiques peut, dans la nature, remplacer la *sélection artificielle* de l'éleveur et rendre compte de la formation des espèces par descendance.

Reste à définir le facteur qui peut déterminer cette sélection naturelle. Darwin fait appel à la lutte pour la vie que les diverses espèces et les individus d'une même espèce se livrent dans la nature. Après Malthus, il fait remarquer que le nombre des individus d'une espèce tend à croître par la génération en progression géométrique. Il est facile de calculer que le nombre des individus d'une espèce donnée deviendrait en peu de temps prodigieux s'il n'existait une cause qui le limite. Cette cause, c'est la pénurie relative des moyens de subsistance qui ne croissent qu'en progression arithmétique. Il s'établit donc à chaque génération une *lutte pour la vie* dont les individus les *plus aptes* sortent vainqueurs.

Il faut d'ailleurs entendre cette expression, lutte pour la vie, au sens le plus large. La concurrence ne s'établit pas seulement entre les représentants d'une même espèce pour la conquête de la nourriture, mais entre espèces différentes ayant des besoins analogues ou dont l'une est la proie de l'autre.

D'autre part, la lutte pour la vie n'est pas toujours une concurrence. Les êtres vivants doivent aussi se défendre contre tous les agents cosmiques, froid, chaleur, humidité, sécheresse. En un mot, il y a lutte des individus contre *tous* les facteurs cosmiques ou vivants qui constituent ce que nous avons appelé le milieu, au sens le plus étendu.

Dans tous les cas, les mieux défendus, les plus robustes, en un mot les plus aptes, sont les vainqueurs. Les autres sont éliminés. La lutte pour la vie réalise donc la *sélection naturelle.*

Nous avons maintenant tout ce qu'il faut pour construire une théorie de la formation des espèces par descendance. Parmi les innombrables variations morphologiques que présentent les divers individus d'une espèce, il en est d'inutiles ou de nuisibles. Elles seront éliminées. Mais il en est qui favorisent leurs porteurs dans la lutte pour la vie. Ces derniers se multiplieront et constitueront une espèce nouvelle qui se substituera à l'espèce primitive. Ou bien, cas plus fréquent, la variation considérée n'est utile que dans certaines conditions. Si les porteurs rencontrent précisément ces conditions qui définissent ce qu'on appelle une place libre dans la nature, ils se multiplieront et constitueront une espèce nouvelle coexistant avec l'espèce type et à son voisinage.

LA SÉLECTION SEXUELLE.

Darwin a complété sa théorie par celle de la *sélection sexuelle.* Beaucoup des caractères qui distinguent les deux sexes dans une même espèce ne sont évidemment d'aucune utilité. Comment auraient-ils pu donner prise à la sélection? C'est le cas des couleurs voyantes des oiseaux mâles, de la crête du coq, etc. Darwin fait rentrer ces

cas dans le cadre général de la théorie sélectionniste.

Certains de ces attributs sexuels sont des armes qui servent aux mâles dans les combats qu'ils se livrent pour la possession des femelles. Ils sont donc utiles et les individus chez qui ils sont particulièrement développés ont plus de chance de s'accoupler et de se reproduire. Dans d'autres cas, c'est la femelle qui choisirait les mâles les plus brillamment colorés, ceux qui possèdent le chant le plus harmonieux. Il y aurait encore une sélection dont l'agent actif serait la femelle.

Disons de suite pour n'y plus revenir que la sélection sexuelle n'est plus admise aujourd'hui par personne au moins sous la forme générale que lui avait donnée Darwin. Il n'est pas impossible que dans quelques cas particuliers il y ait réellement sélection des mâles entre eux ou d'un sexe par l'autre. C'est certainement exceptionnel.

L'INFLUENCE DU MILIEU D'APRÈS DARWIN.

Darwin, surtout dans les premières éditions de son livre, s'inquiète peu de la cause qui peut déterminer les variations entre lesquelles la sélection est supposée choisir. Il les accepte comme *données* et cherche seulement à montrer comment la sélection les peut transformer en espèces nouvelles. Il n'utilise pas les faits l'influence modificatrice du milieu et d'hérédité de caractères acquis que Lamarck avait invoqués avant lui. Si, en effet, les organismes sont capables de se modifier sous l'influence des agents de l'ambiance, si d'autre part les caractères nouveaux ainsi acquis sont héréditaires, il est clair qu'on peut construire une autre théorie de la formation des espèces sans faire appel à la sélection. Dans la suite, pourtant, Darwin est revenu sur son intransigeance et il a dû accorder une certaine importance aux actions du

milieu. Pourtant, le facteur essentiel est toujours resté pour lui la sélection naturelle.

Telle est à peu près la théorie primitive de Darwin. Cet auteur ne recherche guère l'*origine des variations*, c'est-à-dire en définitive l'origine des espèces. Il constate l'existence de ces variations, les attribuant en partie, et avec quelque hésitation peut-être, à l'action morphogène du milieu. Par contre, il nous donne une explication théoriquement complète de l'adaptation. Il est clair en effet que l'élimination de toutes les variations nuisibles doit adapter de plus en plus étroitement l'organisme à ses conditions de vie.

NÉODARWINIENS. Certains des successeurs de Darwin ont voulu repousser la faible part que l'auteur anglais attribuait à l'action du milieu. Ce sont les néodarwiniens. Le premier en date est Wallace, contemporain de Darwin, arrivé indépendamment de lui et en même temps, à la notion de la sélection naturelle.

Avec Weismann, la théorie atteint son maximum d'intransigeance. Cet auteur nie absolument l'hérédité des caractères acquis sous l'influence morphogène du milieu. N'ayant plus aucune cause à invoquer pour expliquer l'apparition de nouveaux caractères, il doit supposer que l'être évolue par ses propres forces. Tous les caractères seraient représentés dans l'œuf et dans le spermatozoïde par des particules (voir p. 30). Au moment de la formation des éléments génitaux, œufs et spermatozoïdes, certaines de ces particules, dont le *hasard* règle seul le nombre et la nature, sont éliminées. Les œufs recevraient donc une collection de particules qui serait différente pour chacun d'eux. Les individus dérivés de ces œufs seraient donc différents les uns des autres. C'est la variation.

La sélection naturelle peut alors s'exercer sur ces individus variés suivant le processus inventé par Darwin.

Au point de vue spécial de la formation des espèces, c'est-à-dire de l'apparition des variations, cette théorie offre des difficultés spéciales. Il est en effet bien difficile de comprendre comment apparaissent ces variations; s'il ne peut y avoir que des recombinaisons de caractères à chaque période de reproduction, s'il ne peut en un mot rien apparaître de *nouveau*, il faut conclure que les premiers êtres apparus sur le globe, une amibe ou quelque chose d'analogue, contenaient en puissance toute l'évolution ultérieure du monde vivant, l'homme y compris. C'est vraiment peu croyable, encore que certains auteurs, même récents, n'aient pas reculé devant pareille conception.

Quant au rôle de la sélection, il est passible des objections suivantes.

DIFFICULTÉS DE LA THÉORIE SÉLECTIONNISTE.

Dès le début on opposa à Darwin beaucoup d'objections dont la plupart n'avaient, en fait, aucune valeur. Le facteur invoqué, la sélection, joue incontestablement un rôle. La question est de savoir quelle est son efficacité.

Les particularités qui distinguent les individus d'une même espèce entre eux sont toujours assez faibles. Ce sont des différences en plus ou en moins et de peu d'amplitude. Il s'agit en général d'une couleur plus ou moins accentuée, d'une dimension ou supérieure ou inférieure à la normale. Or, la sélection est supposée avantager les porteurs de variations utiles. Il est trop évident que la plupart des particularités individuelles sont ou trop faiblement développées pour donner prise à la sélection ou

n'ont par elles-mêmes aucune utilité. A quoi peuvent bien servir des châtaignes du cheval ou la croix noire de l'âne?

Cette critique essentielle est très sérieuse et n'a pu être réfutée complètement. On admet assez volontiers aujourd'hui que la sélection n'a pas le rôle constructeur que lui attribuait Darwin. Elle ne saurait rendre compte de l'adaptation progressive des organismes; mais en éliminant les variations trop désavantageuses, elle peut empêcher cette adaptation de descendre au-dessous d'un certain niveau.

ESSAIS D'ADAPTATION DE LA THÉORIE SÉLECTIONNISTE.

Divers auteurs modernes ont tenté d'améliorer la théorie sélectionniste en faisant intervenir les faits nouvellement acquis dans la science ou d'autres facteurs plus ou moins théoriques.

Théorie de la mutation. — L'inutilité des petites variations d'ordre individuel, telle est l'écueil de la théorie darwinienne. Cette difficulté est levée dans la théorie de la mutation dont le protagoniste est le botaniste hollandais de Vries.

D'après de Vries il y a deux espèces de variations :

1° De petites variations qui se font dans tous les sens et qui ne sont pas héréditaires;

2° Des variations importantes qui sont héréditaires et qu'il appelle *mutations.*

Spécifions bien que pour de Vries les mutations sont des variations héréditaires de *grande amplitude* (1). Ces

(1) Jusqu'ici nous avons simplement employé ce terme au sens plus général de variation héréditaire, abstraction faite de son importance.

dernières apparaissent brusquement en un lieu déterminé et souvent sur un plus ou moins grand nombre d'individus à la fois. Ces individus variés, ou plutôt mutationnés, diffèrent suffisamment du type de l'espèce pour qu'on puisse les considérer comme constituant une espèce nouvelle apparentée à la première. L'expérience montre que les caractères qui distinguent cette espèce nouvelle sont héréditaires : l'espèce est donc fixée.

Ainsi, en cultivant des *Œnothera lamarckiana* au Jardin botanique d'Amsterdam, de Vries a obtenu des pieds différant de tous les autres par des fleurs plus grandes, des feuilles en rosette, etc., suffisamment distincts de ceux du type pour qu'on ait pu les décrire comme *Œ. gigas*, *Œ. ruahensis*... etc. Les graines de ces pieds semées se développèrent en donnant des plantes identiques. Ces espèces nouvelles ont donc apparu brusquement par « mutation » et se sont trouvées fixées dans leurs caractères dès la première génération.

Il est clair que la sélection reprend ici théoriquement tout son pouvoir. Le caractère nouveau n'est pas naissant; il est bien développé et peut être réellement utile ou nuisible. D'après de Vries, de toutes les espèces apparues par mutation, la plupart disparaissent par sélection : quelques-unes seulement persistent. La sélection s'exercerait d'ailleurs bien plus entre espèces différentes qu'entre les individus d'une même espèce.

Par ailleurs, cette théorie fait une distinction trop absolue entre les mutations ou variations de grande amplitude et les petites variations individuelles; la propriété héréditaire, qui seule importe ici, n'a rien à voir avec l'importance de la variation. Enfin elle ne nous donne pas l'explication de l'origine de la variation : de Vries semble cependant admettre que c'est le milieu qui, agissant sur certains individus, les met en *état* de mutation,

et cette concession à l'influence des facteurs externes est à retenir.

Mais surtout la théorie de la mutation n'échappe pas à cette critique que méritait aussi celle de la sélection pure : toute variation doit tendre à disparaître par suite de l'union de ses porteurs avec les individus normaux. Toute population variée doit finalement se fondre dans la population type, si un facteur n'intervient pas pour la protéger. Pour lever cette difficulté on a invoqué la *ségrégation.*

Théorie de la ségrégation. — L'initiateur en fut M. Wagner et à sa suite se rangèrent Romanes, un élève de Darwin, puis Gulick. Ils ont admis que des espèces nouvelles ne se peuvent former qu'à la condition qu'un groupe d'individus variés soit *isolé* par une cause quelconque du reste de l'espèce. La disparition des variations par croisement est ainsi évitée.

Cet isolement peut être d'ordre géographique : ce que montre bien la composition de la faune et de la flore des îles, affines à celles des continents voisins, mais cependant formées d'espèces particulières. Il peut être aussi physiologique en ce sens que les variations peuvent être telles que tout croisement soit impossible entre les individus variés et les représentants de l'espèce type. Ce cas a été spécialement étudié par Romanes. Il est clair que la sélection reprend ici une partie de ses droits puisque la variation ne risque pas d'être effacée par le croisement avec les individus types. Dans le cas d'isolement géographique le rôle de la sélection serait théoriquement beaucoup plus effacé.

En fait, la plupart des auteurs ne font de la ségrégation qu'un facteur adjuvant de la sélection.

Cette théorie de la ségrégation a été tout récemment renouvelée par un auteur français. Cuénot estime que les

espèces nouvelles se forment par deux procédés. Certains groupes d'individus peuvent se trouver isolés du reste des autres représentants de l'espèce. Cet isolement, qui peut en effet être réalisé par toutes sortes de conditions (géographiques, physiologiques...), est *par lui-même* une cause de variations parmi lesquelles peuvent se trouver des mutations, c'est-à-dire des variations héréditaires d'emblée. La sélection intervient alors pour protéger les formes bien adaptées aux nouvelles conditions d'existence et éliminer les autres.

Enfin, le même auteur se fait l'idée suivante de l'adaptation. Le rapport étroit de cause à effet qui semble exister entre les espèces très adaptées et leur milieu ne serait qu'une apparence. La structure d'une espèce adaptée n'est pas produite par le milieu, elle *préexiste*. C'est parce qu'une espèce possédait *déjà* la constitution lui permettant de s'accommoder au mieux d'un certain milieu, d'une *place vide*, que cette espèce a pu s'installer dans la place. « Une adaptation suffisante est nécessairement antérieure à l'installation dans la place vide. » Ici la sélection ne joue plus aucun rôle.

Cette théorie renferme certainement du vrai. Mais est-elle générale? Le phoque qui peut à peine se mouvoir à terre avait-il déjà ses membres transformés en nageoires avant de prendre possession du milieu liquide? Dans un cas de ce genre, Cuénot ferait sans doute appel à la notion de l'orthogénèse. Supposant qu'un animal voisin des Carnivores (les phoques dérivent plus ou moins directement des Carnivores) aurait eu les membres un peu raccourcis et élargis, il aurait pénétré dans le milieu aquatique pour lequel sa conformation spéciale constituait une préadaptation. Là ses membres auraient continué à se transformer lentement, toujours dans le même sens, jusqu'à acquérir leur structure actuelle. La cause de cette

évolution se trouverait dans l'orthogénèse, c'est-à-dire dans une tendance interne de l'organisme à évoluer toujours dans le même sens. Mais cette tendance est dans l'état actuel de la science tout à fait inexplicable.

LAMARCK ET L'INFLUENCE DU MILIEU.

Lamarck crut d'abord à la fixité de l'espèce. Mais ses études systématiques approfondies, la rencontre de très nombreuses espèces mal définies firent évoluer ses idées du tout au tout. C'est ainsi qu'en 1802, dans la leçon d'ouverture d'un cours au Muséum, il déclarait « qu'il n'y a réellement dans la nature que des individus ». Les causes de la variabilité, Lamarck les recherche uniquement dans l'action du milieu, soit que ce dernier agisse directement comme chez les végétaux, soit que son action s'exerce par l'intermédiaire des *habitudes*, ce qui est plus spécialement le cas des animaux. Il cite de nombreux exemples dont beaucoup nous semblent aujourd'hui assez mal choisis (il faut se rappeler qu'il écrivait au début du XIXe siècle). Il expose, par exemple, que la *Ranunculus aquatilis*, espèce très commune dans nos eaux douces, n'a que des feuilles très finement découpées quand elle pousse en eau profonde. En eau peu profonde, certaines feuilles arrivent à la surface et prennent une forme lobée. Enfin, dans un sol simplement humide, il n'y a plus de feuilles à divisions capillaires.

Chez les animaux, l'habitude imposée par le milieu d'exercer certains organes au détriment d'autres produit le même effet. « L'oiseau que le besoin attire sur l'eau pour y trouver la proie qui le fait vivre, écarte les doigts de ses pieds lorsqu'il veut frapper l'eau et se mouvoir à sa surface. La peau qui unit ces doigts à leur base contracte par ces écartements sans cesse répétés l'habitude

de s'étendre; ainsi, avec le temps, les larges membranes qui unissent les doigts des canards, des oies, etc., se sont formées telles que nous les voyons. »

Lamarck résume ses conceptions sur l'influence morphogène du milieu dans une formule qu'on a appelé premier principe de Lamarck.

« Dans tout animal qui n'a pas dépassé le terme de ses développements, l'emploi plus fréquent et soutenu d'un organe quelconque fortifie peu à peu cet organe, le développe, l'agrandit et lui donne une puissance proportionnée à la durée de cet emploi, tandis que le défaut constant d'usage l'affaiblit insensiblement, le détériore, diminue progressivement ses facultés et finit par le faire disparaître. »

D'autre part, Lamarck considère que toutes les modifications produites sous l'influence du milieu sont héréditaires. C'est ce qu'il énonce dans son deuxième principe : « Tout ce que la nature a fait acquérir ou perdre aux individus par l'influence des circonstances où leur race se trouve depuis longtemps exposée et, par conséquent, par l'influence de l'emploi prédominant de tel organe ou par celle d'un défaut constant d'usage de telle partie, elle le conserve par la génération aux individus qui en proviennent, pourvu que les changements acquis soient communs aux deux sexes ou à ceux qui ont produit ces nouveaux individus. »

Ces deux lois constituent une théorie complète de l'évolution et de l'adaptation. D'une part l'influence modificatrice du milieu et l'hérédité des caractères nouveaux ainsi acquis explique l'apparition de formes spécifiques nouvelles. D'autre part, il est facile de comprendre que les organismes exerceront particulièrement les organes qui leur seront utiles dans les conditions où ils vivent. Ceux-ci se développeront; les autres régresseront; il s'établira donc

une concordance de plus en plus étroite entre l'organisme et le milieu. C'est l'adaptation.

Le pivot du système est évidemment l'hérédité des caractères nouveaux acquis sous l'influence du milieu. S'ils ne sont pas héréditaires, la théorie est fortement menacée. Nous avons vu plus haut qu'on ne peut citer qu'un petit nombre de cas d'hérédité de cette sorte de caractères. Aussi les opposants prétendent-ils qu'il s'agit de coïncidences diverses.

Le point le plus faible des théories lamarckiennes consiste dans notre incertitude complète vis-à-vis de l'hérédité des effets de l'usage et de la désuétude des organes. C'est cependant ce qui permettrait le mieux dans l'hypothèse lamarckienne d'expliquer l'adaptation.

Heureusement, cette hérédité des effets de l'usage n'est pas obligatoire. Nous avons vu que les variations directement produites sous l'influence du milieu sont non toujours, mais fréquemment adaptatives, et la théorie se trouve sauvée par ce biais.

CONCLUSIONS. Les diverses théories que nous venons d'examiner très brièvement et un peu schématiquement ne sont cohérentes que parce qu'elles font toutes appel à l'hypothèse pour combler les vides de nos connaissances. Elles se différencient suivant que les hypothèses complémentaires sont plus ou moins logiquement probables ou plus ou moins justifiées par les faits.

La théorie de la sélection pure n'est plus acceptable sous sa forme primitive en raison de l'inutilité des petites variations. La sélection naturelle elle-même est une hypothèse et nous ne savons dans quelle limite exacte elle est justifiée par les faits.

Les néodarwiniens ne pouvant accepter le rôle mor-

phogène du milieu en sont réduits à attribuer l'apparition des caractères nouveaux à une force évolutive interne des plus hypothétiques.

Complétée par la ségrégation, la théorie de la mutation fournit un ensemble assez acceptable. Malheureusement, en raison de l'inefficacité de la sélection, il faut un facteur complémentaire et ce facteur est une hypothèse pure qui n'explique rien. C'est l'orthogénèse. On peut en effet constater dans certaines séries paléontologiques que la variation n'est pas désordonnée, qu'elle se fait longtemps dans un sens déterminé. Mais expliquer ce fait par une propriété de l'organisme et par un mot inventés spécialement, c'est résoudre la difficulté à trop bon marché.

Les théories lamarckiennes enfin doivent faire appel non seulement à l'hérédité des caractères acquis sous l'influence directe du milieu, qui n'est pas tout à fait une hypothèse, mais encore à l'hérédité des effets de l'usage et de la désuétude, dont nous n'avons aucune preuve évidente. A vrai dire, les effets de l'usage et les effets directs du milieu se confondent parfois étrangement. Quand le milieu détermine l'augmentation d'une partie, ses effets ressemblent fort à ceux de l'excitation fonctionnelle, c'est-à-dire au développement de cette partie sous l'influence du fonctionnement. Et si les caractères acquis sous l'influence du milieu sont héréditaires, les seconds pourraient bien l'être également.

Les opposants à la théorie de l'hérédité des caractères acquis affirment qu'il est incompréhensible que les modifications produites sur différents organes s'impriment dans les éléments génitaux de telle manière qu'elles se reproduisent à la génération suivante. Mais cette invraisemblance est le résultat de l'introduction d'une hypothèse inutile et gratuite. Le *germen*, c'est-à-dire les éléments reproducteurs, serait absolument distinct du soma ou

corps, et toute action sur le second ne se transmettrait qu'exceptionnellement au premier. Ce n'est là qu'une supposition. Les variétés de plantes horticoles se transmettent avec *tous leurs caractères* par bouturage, preuve que la variation s'est en quelque sorte imprimée dans *toutes* les cellules de l'individu. Remarquons en effet que le nombre des cellules de la bouture peut dans certains cas être réduit à un très petit nombre. Les fragments infimes de feuilles de Bégonia bouturent admirablement. Un petit massif de cellules somatiques est donc capable de reproduire l'individu dont il est issu avec *tous* ses caractères.

L'ovule, surtout l'ovule parthénogénétique, est-il donc si différent d'une cellule somatique? Certainement non puisqu'il possède autant mais non plus que les cellules somatiques le pouvoir de reproduire l'individu dont il est détaché. (Voir chapitre VII.)

L'avenir nous dira certainement d'une façon précise ce qu'il en est de l'hérédité des caractères acquis sous l'influence du milieu et le débat sera résolu entre Darwiniens et Lamarckiens. Il est du reste probable que l'étude approfondie de la physiologie du développement nous fera un jour connaître par quel processus les caractères nouveaux s'impriment dans l'organisme et deviennent héréditaires. C'est par cette voie plutôt que par des essais directs de transmissibilité que la question sera tranchée.

ADDENDUM

Page 74. — *D'après des travaux récents cette dernière conclusion ne serait pas aussi exacte qu'on l'avait pensé. La question est de nouveau ouverte.*

Page 77. — *Ici encore, il faut être prudent et le déterminisme du sexe au* MOMENT *de la fécondation n'est peut-être pas aussi général qu'on l'avait cru jusqu'à ce jour.*

BIBLIOGRAPHIE

Dans cette courte liste bibliographique, nous n'indiquons que quelques ouvrages contenant un exposé des résultats les plus généraux de diverses parties de la Biologie. Nous y avons ajouté quelques ouvrages fondamentaux devenus classiques.

CLAUDE BERNARD. — *Leçons sur les phénomènes de la vie, communs aux animaux et aux végétaux*. Paris.

CLAUDE BERNARD. — *Introduction à la médecine expérimentale*. Paris.

BRACHET. — *L'œuf et les facteurs de l'ontogénèse*. Paris, Douin.

BLARINGHEM (L.). — *Le perfectionnement des plantes*. Paris, Flammarion.

BLARINGHEM (L.). — *Les transformations brusques des êtres vivants*. Paris, Flammarion.

BLARINGHEM (L.). — *Les problèmes de l'hérédité expérimentale*. Paris, Flammarion.

BOHN (G.). — *La naissance de l'intelligence*. Paris, Flammarion.

BOHN (G.). — *La nouvelle psychologie animale*. Paris, Alcan.

BOHN (G.). — *La Chimie et la Vie*. Paris, Flammarion.

BOHN (G.). — *La forme et le mouvement*. Paris, Flammarion.

BOUVIER (E. L.). — *La vie psychique des insectes*. Paris, Flammarion.

BOUVIER (E. L.). — *Habitudes et métamorphoses des insectes*. Paris, Flammarion.

BURNET (Dr E.). — *Microbes et toxines*. Paris, Flammarion.

BUSQUET. — *La fonction sexuelle*. Paris, Douin.

CAULLERY (M.). — *Les problèmes de la sexualité*. Paris, Flammarion.

COSTANTIN (J.). — *Les végétaux et les milieux conniques*. Paris,

CUÉNOT (L.). — *La genèse des espèces*. Paris, Alcan.
Alcan.

DEPÉRET (C.). — *Les transformations du monde animal*. Paris, Flammarion.

DARWIN (Ch.). — *L'origine des espèces au moyen de la sélection naturelle*. Paris, traduction Barbier.

DARWIN (Ch.). — *De la variation des animaux et des plantes à l'état domestique*. Paris, traduction Barbier.

DARWIN (Ch.). — *La descendance de l'homme et la sélection sexuelle*. Paris, traduction Barbier.

DASTRE (A.). — *La vie et la mort*. Paris, Flammarion.
DELAGE (Y.). — *L'Hérédité et les grands problèmes de la Biologie générale*. 2e édition, Paris, Schleicher.
DELAGE (Y.) et GOLDSMITH (M.). — *Les théories de l'évolution*. Paris, Flammarion.
DELAGE (Y.) et GOLDSMITH (M.). — *La Parthénogénèse*. Paris, Flammarion.
DUCLAUX (J.). — *La Chimie de la matière vivante*. Paris, Alcan.
GIARD (A.). — *Controverses transformistes*. Paris, 1903.
HOUSSAY (F.). — *La forme et la vie*. Paris 1900, Schleicher.
HOUSSAY (F.). — *Nature et sciences naturelles*. Paris, Flammarion.
LAMBLING. — *Précis de Biochimie*. Paris, Masson.
LAMARCK (A. MONET DE). — *Philosophie zoologique*. Paris, 1809 et réimpression Schleicher, 1908.
LAMARCK (A. MONET DE). — *Discours d'ouverture*. Réimpression. Paris 1907.
LANDRIEU (M.). — *Lamarck, le fondateur du transformisme*. Paris, édité par la Société Zoologique de France 1909.
LE DANTEC (F.). — *La mécanique de la vie*. Paris, Flammarion.
LE DANTEC (F.). — *Eléments de Philosophie biologique*. Paris, Alcan.
LE DANTEC (F.). — *Lamarckiens et Darwiniens*. Paris, Alcan.
LE DANTEC (F.). — *Traité de biologie*. Paris, Alcan.
LE DANTEC (F.). — *La crise du Transformisme*. Paris, Alcan.
LOEB (J.). — *La conception mécanique de la vie*. Paris, Alcan.
LOEB (J.). — *La dynamique des phénomènes de la vie*. Paris, Alcan.
LOEB (J.). — *La fécondation chimique*. Paris. Edition du *Mercure de France*. Traduction Drzewina.
PERRIER (Ed.). — *La philosophie zoologique avant Darwin*. Paris. Alcan.
RABAUD (E.). — *Le transformisme et l'expérience*. Paris, Alcan.
RABAUD (E.). — *Eléments de Biologie générale*. Paris, Alcan.
VRIES (H. DE). — *Espèces et variétés*. Paris, Alcan. Traduction Blaringhem.
VIALLETON (L.). — *Un problème de l'évolution. La Théorie de la récapitulation des formes ancestrales*. Montpellier, Coulet.

TABLE DES MATIÈRES

Première Partie

La Biologie et ses subdivisions

Deuxième Partie

Troisième Partie

L'organisme individuel

Quatrième Partie

L'évolution

COSMOS — PETITE BIBLIOTHÈQUE

DE

CULTURE GÉNÉRALE

VOLUMES PARUS :

Premières Notions d'Economie politique, par M. Charles GIDE, Professeur honoraire à la Faculté de Droit de Paris, Professeur au Collège de France.

Les Mathématiques, par M. Pierre BOUTROUX, Professeur au Collège de France.

L'Astronomie, par M. LAMBERT, Astronome à l'Observatoire de Paris, chargé de conférences à la Faculté des Sciences.

La Physique, par M. BILLARD, Professeur au Lycée Saint-Louis.

La Biologie, par M. KOLLMANN, Maître de Conférences à la Faculté de Rennes.

SOUS PRESSE :

La Zoologie, par M. ROBERT, Secrétaire général de la Société Zoologique de France, ancien chargé des fonctions de Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Paris.

EN PRÉPARATION :

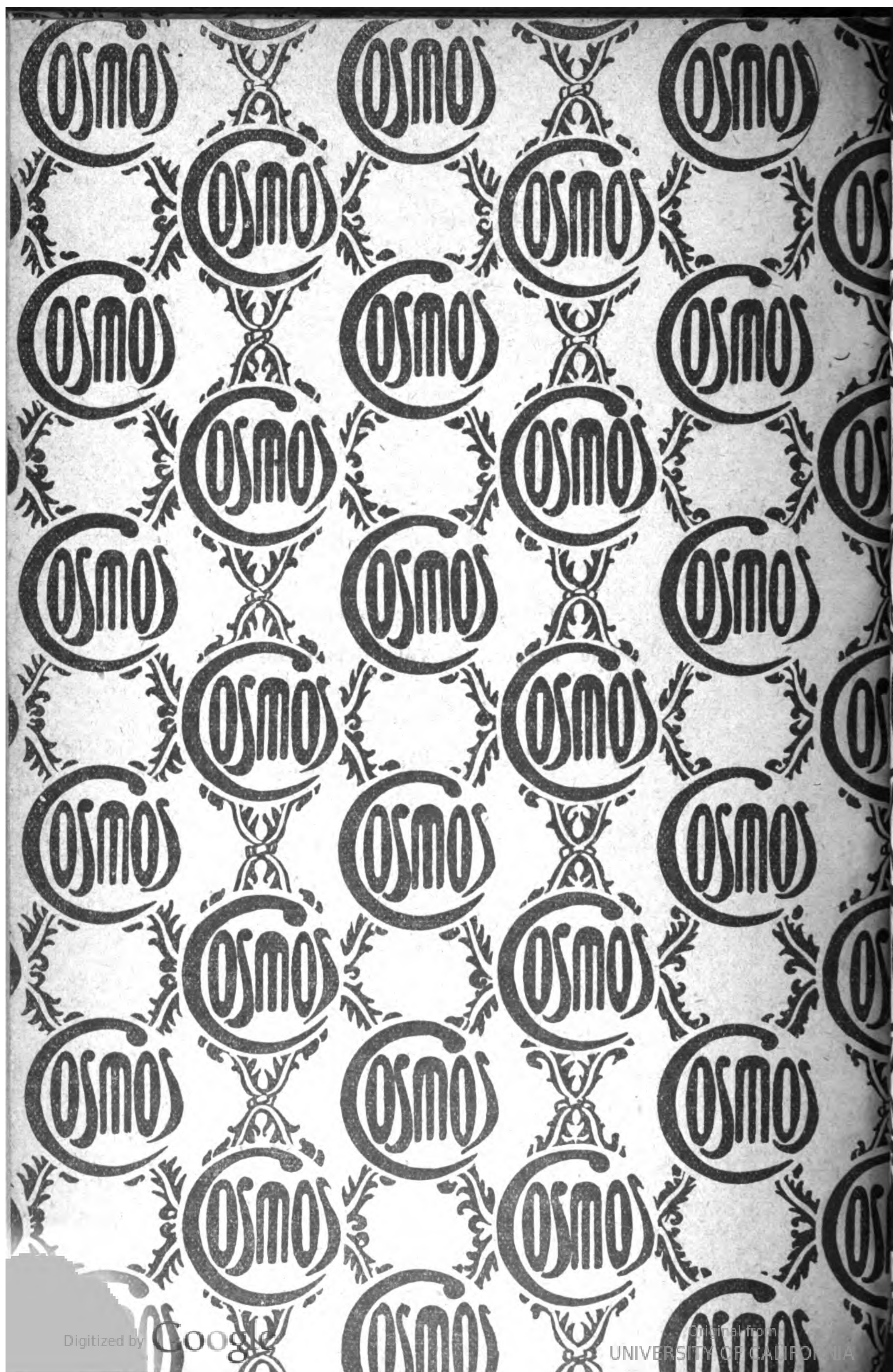
Botanique .

Embryologie.

Linguistique.

Association Linotypiste

23, rue Turgot. — Tél. : Trudaine 61.79


COSMOS

